

TYPLOGIE ET CARTOGRAPHIE DES UNITES
D'OCCUPATION DES TERRES DU SUPER-SITE
CENTRAL EST (BANIZOUMBOU)
DU PROGRAMME HAPEX-SAHEL

RAPPORT D'ETAPE

JANVIER 1994

par

Maud LOIREAU
(ingénieur écologue)
e t

Jean-Marc d'HERBES
(ingénieur agronome, docteur en écologie)

SOMMAIRE

CARACTERISATION DE L'ESPACE ET DES RESSOURCES A L'AIDE DE LA TELEDETECTION SPATIALE HAUTE RESOLUTION.....	1
1. CARACTERISATION D'UN PAYSAGE : CONCEPTS ET OBJECTIFS DE LA CARTE DES ETATS DE SURFACE.....	1
1.1. CARACTERISATION D'UN PAYSAGE : GENERALITES.....	1
1.2. LE CHOIX D'UNE CARTE DES ETATS DE SURFACE.....	2
1.3. DU TERRAIN A LA TELEDETECTION.....	3
2. DIAGNOSTICS MORPHOPEDOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE SUR NOTRE AIRE D'ETUDE : DESCRIPTION ET DIFFICULTES RENCONTREES.....	4
2.1. DIAGNOSTIC MORPHOPEDOLOGIQUE.....	4
2.2. DIAGNOSTIC GEOMORPHOLOGIQUE.....	7
2.3. LES GRANDES UNITES PAYSAGERES RETENUES.....	9
3. RELEVES CARTOGRAPHIQUES SUR LE TERRAIN.....	9
3.1. LES TRANSECTS CARTOGRAPHIQUES.....	9
3.2. LES ELEMENTS DESCRIPTIFS DU PAYSAGE.....	12
4. PREMIER TRAITEMENT DES DONNEES : UNE TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES.....	16
4.1. ELEMENTS DESCRIPTIFS DU PAYSAGE RETENUS POUR LES TRAITEMENTS STATISTIQUES.....	16
4.2. OUTILS ET TRAITEMENTS STATISTIQUES.....	17
4.2.1. Le tableau de données.....	17
4.2.2. Une Classification Ascendante Hiérarchique : CAHVOR.....	18
4.2.3. Une Analyse en Composantes Principales : ANCOMP.....	20
- Qu'est-ce qu'une ACP ?.....	20

- Interprétation des résultats.....	21
4.3. PRESENTATION DE LA TYPOLOGIE.....	25
5. SPATIALISATION : REALISATION D'UNE CARTE DES ETATS DE SURFACE AU 1:50000.....	31
5.1. LES SATELLITES SPOT ET LES DONNEES HRV DE SPOT.....	31
5.1.1. Les satellites SPOT.....	31
5.1.2. Les données HRV de SPOT.....	32
5.2. CORRECTIONS GEOMETRIQUES DES IMAGES.....	33
5.2.1. Objectifs et nécessité.....	33
5.2.2. Corrections géométriques de l'image SPOT HRV1 du 05/10/92.....	33
5.3. CLASSIFICATION DIRIGEE DE L'IMAGE SPOT DU 05/10/92.....	35
5.3.1. Préparation de l'image à traiter.....	35
5.3.2. La classification dirigée.....	36
- Positionnement des transects.....	36
- Repérage des zones test.....	36
- Classification.....	37
5.4. PRESENTATION DE LA SPATIOCARTES DES ETATS DE SURFACE ET DE SA LEGENDE.....	40
6. COMPARAISON DE LA TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES RELEVÉES AU SOL ET DE LA SPATIOCARTES DES ETATS DE SURFACE AU 1/50000.....	43
7. CONCLUSION : LA SPATIOCARTES DES ETATS DE SURFACE DU 05/10/92 : UN DOCUMENT INTERMEDIAIRE DANS UNE DEMARCHE CARTOGRAPHIQUE GLOBALE.....	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47
ANNEXES.....	52

LISTE DES ANNEXES.....	65
LISTE DES CARTES.....	65
LISTE DES FIGURES.....	65
LISTE DES TABLEAUX.....	66

CARACTERISATION DE L'ESPACE ET DES RESSOURCES A L'AIDE DE LA TELEDETECTION SPATIALE HAUTE RESOLUTION

1. CARACTERISATION D'UN PAYSAGE : CONCEPT ET OBJECTIFS DE LA CARTE DES ETATS DE SURFACE

1.1. CARACTERISATION D'UN PAYSAGE : GENERALITES

La végétation est le descripteur le plus immédiatement perceptible, aussi est-il fréquemment utilisé pour décrire la mosaïque du paysage. Les groupes de plantes qui se répètent sont indicateurs des conditions du milieu (humidité, richesse du sol, mode d'exploitation). (Baudry, 1986).

L'hétérogénéité des paysages perçue au premier abord est une hétérogénéité visuelle: diversité de structures horizontales et verticales qui se succèdent. Forman et Godron (1981) distinguent deux éléments du paysage: les tâches et les corridors. Les tâches sont des éléments individualisés dont on peut facilement cerner les contours, définies généralement par leur végétation. Elles se différencient également par leur origine et leur pérennité. Les corridors sont des éléments allongés reliant généralement des tâches entre elles : routes, rivières, haies, ...

La structure spatiale d'un paysage est l'arrangement dans l'espace de ses éléments. La description de cette structure est primordiale dans l'analyse du paysage puisqu'elle évolue dans l'espace et dans le temps, puisqu'elle provoque ou inhibe de nombreux phénomènes écologiques et qu'elle est liée directement à l'utilisation du milieu par l'homme.

La diversité des types d'unités du paysage est à la fois fonction des conditions édapho-climatiques (type de sol, relief, micro-climat, alimentation en eau, ...), des facteurs bio-géographiques (type de végétation) et des facteurs humains (techniques utilisées, pression sur l'occupation du sol, ...).

L'utilisation des terres par les agriculteurs et les éleveurs en milieu rural, dans un contexte socio-économique et technique donné, dépend à la fois des caractéristiques physico-chimiques du milieu et de la disposition de l'espace exploité (distances de parcelles au siège d'exploitation).

Si chaque facteur, pris isolément, a un effet sur la mise en place de la mosaïque, ce qui nous intéresse essentiellement à l'échelle du paysage, ce sont les effets de combinaisons de facteurs qui affectent significativement l'utilisation du sol (Baudry, 1986). Les différentes utilisations du sol sont ainsi localisés préférentiellement dans certaines zones du paysage, définies par une ou plusieurs combinaisons de facteurs environnementaux.

1.2. LE CHOIX D'UNE CARTE DES ETATS DE SURFACE

La cartographie des Etats de Surface effectuée sur le site central, à l'Est de Niamey, a pour objectif d'identifier et de spatialiser les différentes unités caractéristiques du paysage reliés à une utilisation du sol particulière.

La cartographie est en effet particulièrement adaptée à la description du paysage puisqu'elle situe les objets de celui-ci dans une représentation de l'espace (Gondard, 1988). La cartographie des Etats de Surface consiste non seulement à situer les objets mais aussi, à les décrire selon des critères de disponibilité de ressources naturelles (formations végétales : recouvrement, stratification ; espèces dominantes). Or, cette disponibilité se définit par une ou plusieurs combinaisons de facteurs environnementaux et s'identifie à une occupation spécifique du sol par l'homme.

La carte des Etats de Surface telle que nous la concevons à notre échelle d'observation (1:50000) se différencie de la carte de l'occupation des terres classique en écologie pour les raisons suivantes.

En effet, la carte de l'occupation des terres se compose de trois éléments descriptifs très synthétiques: formation végétale (recouvrement, stratification), espèces dominantes, degré d'artificialisation, alors que la carte des états de surface assimile la notion d'états de surface aussi bien aux diverses formations végétales qu'aux formations superficielles du sol (sableux, argileux,...), au relief et à la pente.

Les états de surface sont en fait les formations végétales et les espèces dominantes principalement, plus autre chose (facteurs environnementaux). Ils sont tout ce qui peut être perçu par un satellite (en insistant davantage sur la couverture végétale en tant que ressource), tout les éléments au sol qui, par leurs réflectances spécifiques et combinées, vont composer l'image satellitaire. Nous expliquerons l'intérêt de cette liaison avec l'image satellitaire dans le chapitre suivant. Les états de surface tels que nous les percevons ne sont pas à confondre avec la seule partie superficielle des sols selon le point de vue des pédologues. Nous les abordons selon un point de vue d'écologie ; ce qui explique l'importance donnée à la couverture végétale.

Ainsi, l'objectif de cette carte est d'utiliser au mieux une description quantitative et qualitative des ressources (couvert végétal) en relation avec les principales conditions environnementales perceptibles à un moment donné. Elle pourra alors être utilisée, d'une part, par différents spécialistes (écologues, agronomes, pédologues, etc...) et, d'autre part, pour spatialiser et extrapoler des phénomènes très variés d'ordre anthropique par exemple (conduite de troupeaux, prélèvement de bois, etc...).

L'autre distinction entre ces deux cartes est le degré d'artificialisation. L'artificialisation constitue le processus selon lequel le milieu naturel est transformé par l'homme. L'estimation de ce paramètre se réalise grâce à des échelles confectionnées a priori pour chaque "zone écologique". Elles permettent de distribuer selon un ordre croissant les

diverses situations d'altération des écosystèmes. Le degré de moindre valeur correspond aux conditions où l'intervention a été nulle ("végétation climatique") et le plus haut degré où l'effet anthropique est maximum (les villes). (Michel Etienne et Pradoc, 1982). Etant donné que nous travaillons à l'échelle du site central (20*20 km) situé à 70 km à l'Est de Niamey et que, sur cette petite zone exclusivement rurale, les degrés d'artificialisation sont à priori trop homogènes pour être pertinents, nous n'utiliserons pas ce critère de description du paysage. Nous nous en tiendrons à une nomination des différentes occupations du sol (champs, jachères, végétation naturelle) décrites chacune selon leurs propres ressources disponibles.

1.3. DU TERRAIN A LA TELEDETECTION

La méthodologie générale adoptée consiste en une description cartographique au sol non exhaustive (transects positionnés sur des unités géomorphologiques les plus différenciées et les plus uniformes possibles) dans un premier temps et une spatialisation de ces données localisées grâce aux images satellites dans un deuxième temps. Cette démarche, allant du terrain à la télédétection, et non l'inverse, a été choisie pour deux raisons principales.

La première est la volonté de mettre au point une méthode cartographique qui ne nécessite pas à la base une cartographie exhaustive au sol unité par unité, la volonté d'éviter le passage obligé de ce travail de terrain pédestre à l'échelle de notre aire d'étude (le site central) et surtout, de valider une méthode cartographique applicable quelque soit l'échelle d'observation dans les zones sahéliennes agro-pastorales ayant les même caractéristiques géomorphologiques générales.

La deuxième est, dans un premier temps, la volonté d'utiliser l'image satellitaire comme un outils de spatialisation des données observées sur le terrain et non comme une représentation abstraite du paysage dont les différents éléments ne sont identifiés que selon leur signature spectrale et reliés coûte que coûte à une description cartographique du paysage réel au sol avec tous les risques d'erreurs que cela comporte. Par contre, dans un deuxième temps, l'objectif sera de tenter non pas une mise en relation entre une signature spectrale et une donnée de terrain mais, une mise en relation entre une ou plusieurs caractéristiques de terrain combinées (par exemple % de sol nu et diversité floristique,...) et la signature spectrale perçue par le satellite. Si l'objectif est atteint, nous pourrions espérer ne plus avoir besoin de passer systématiquement par la phase préliminaire de relevés de terrain. Jusqu'à présent, il n'est pas prouvé que cette démarche puisse aboutir. Nous essaierons de trouver une réponse à cette incertitude lors de la poursuite de nos travaux de recherche en thèse.

2. DIAGNOSTICS MORPHOPÉDOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE NOTRE AIRE D'ÉTUDE : DESCRIPTION ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

2.1. DIAGNOSTIC MORPHOPÉDOLOGIQUE

La nature du sol et le modelé de la surface permettent de faire ce diagnostic morphopédologique dont l'objectif est de dégager les grandes unités du milieu en les ordonnant les unes par rapport aux autres. Dans le cas présent, nous les ordonnerons selon un gradient topographique.

Tout d'abord, afin d'introduire la nature du sol du site central, nous allons décrire succinctement dans un premier temps la géologie du "degré carré" en tant qu'échelle d'observation supérieure intégrant notre aire d'étude.

Ainsi, le "degré carré" se situe dans la partie Sud-Ouest du bassin sédimentaire de Iullemeden (carte 1). On y rencontre les trois formations suivantes:

- les formations du Continental Terminal, "regroupement des sédiments d'origine continentale post-éocènes et ante-quaternaire (PNUD, 1986). Ce sont en général des grès ferrugineux à argileux.
- le socle, composé de formations granitiques de Liptako et de roches métamorphiques affleurants à l'Ouest du degré carré. Il est caractérisé par un pendage de direction E-NE de 3 à 6%.
- à l'Est, les dépôts alluviaux du Dallol Dosso d'origine éolienne ou hydrique composés de sables, d'argiles ou de sables argileux.

Le site central se situe à l'Est, Nord-Est du "degré carré", et se caractérise, au niveau géologique, par les formations du Continental terminal.

Sinon, la plupart des sols qui le caractérisent se situent sur sables éoliens et sont en général peu lessivés en argile. Ils sont surtout des sols ferrugineux tropicaux à oxydes de fer dominant. Ils présentent un profil ABC ou A (B) C dans lesquels il y a individualisation très importante de fer et de magnésium; l'humus y est rapidement décomposé.

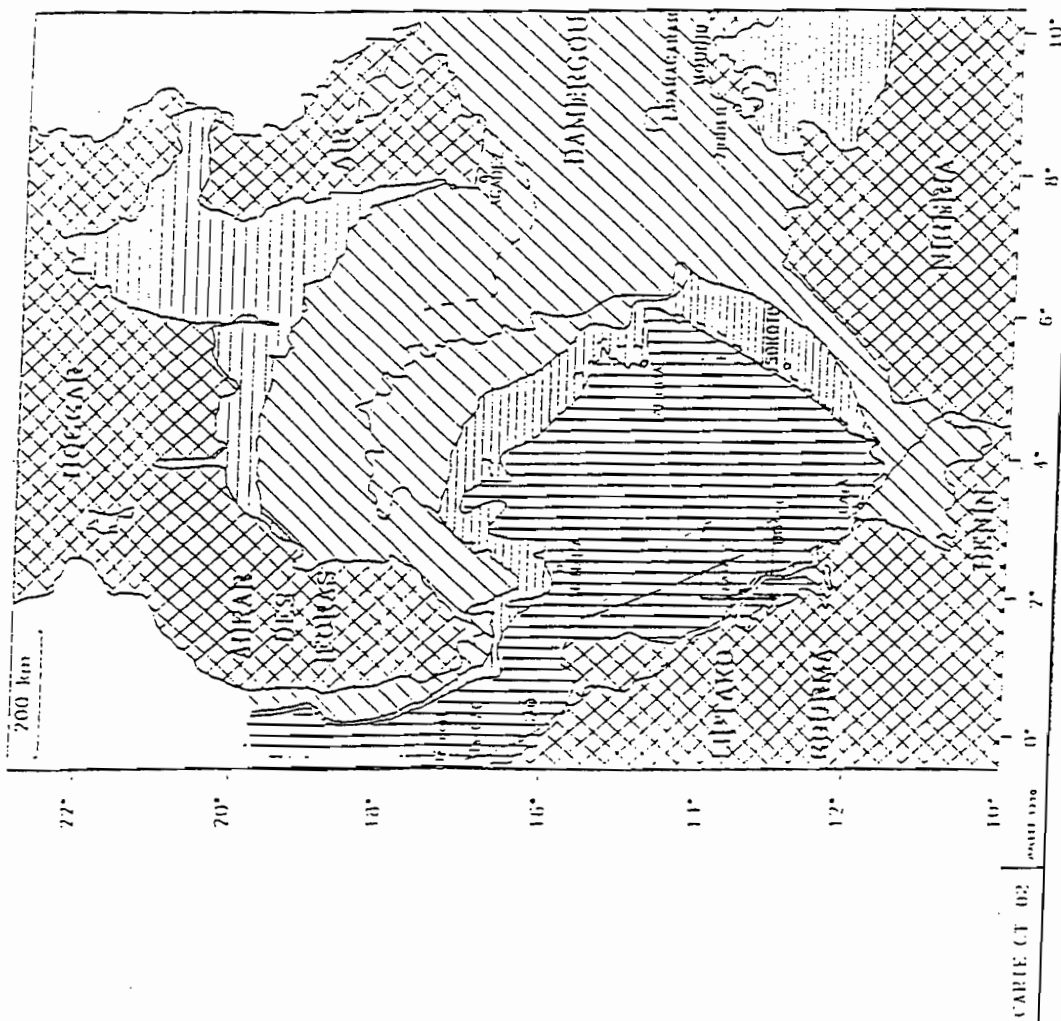
En fait, trois grands ensembles géopédologiques peuvent être distingués sur notre aire d'étude (Courault, d'Herbes, Valentin, 1990) selon un profil de la toposéquence. :

- Les plateaux cuirassés : le plus haut niveau de la toposéquence

Comme le signale Gavaud (1966), la cuirasse ferrugineuse qui recouvre les plateaux de grès du Continental date du Pliocène. La forme reconstituée de cette surface ancienne est celle d'une cuvette drainant vers le Sud. Les pentes régulières ne dépassent pas 0.6 pour mille.

CONTEXTE GEOLOGIQUE DU CONTINENTAL, TERMINAL,

Structure générale du Bassin des Iullemmeden



BUREAU DE L'ÉNERGIE & DU DÉVELOPPEMENT
Projet PNUD DED/86.001 - DED/86.001
Système d'Informations Géographiques - G.I.S.

Carte 1 : Géologie du degré carré (PNUD, 1986)

Sur cette cuirasse se superposent quelques ensablements (dunes sur plateaux). Sinon, dans l'ensemble, les sols argileux sableux, à forte charge caillouteuse y sont peu profonds (40-80 cm).

Le talus est une zone intermédiaire entre le plateau et la jupe sableuse. Il est constitué essentiellement de gravillons sombres et peut avoir une très forte pente (35%).

- Les jupes sableuses et/ ou glacis

Courault, d'Herbes et Valentin (1990) ne font pas la distinction au niveau vocabulaire entre ces deux termes.

Ils ne parlent que de jupe sableuse.

Selon eux, cette jupe sableuse est constituée d'un ensemble sableux rouge homogène (5YR 6/4) qui se présente à la base des plateaux cuirassés. Cette formation serait attribuée à des dépôts éoliens de l'erg ancien datés de l'Ogolien (10 à 20000 ans), mais il peut y avoir des remaniements récents ? La largeur de ces dépôts autour des plateaux serait assez régulière (et forme une auréole d'environ 800 m de largeur).

Cependant, sur ce piémont constitué d'un recouvrement sableux très épais, une distinction est faite entre une zone en amont fortement dégradée par l'érosion hydrique, avec une pente de l'ordre de 5% et, une zone en aval de moins en moins pentue, moins sensible à l'érosion hydrique qui se termine par une zone d'épandage plus ou moins large (40 m), constituée de sable bouillant rouge clair. Cette zone en aval est aussi parfois nommée "glacis". Sur le site central, elle est la zone la plus largement représentée.

En fait, les différents ensembles que recouvrent le terme de jupe sableuse sont très discutables de par la difficulté de les identifier sur le terrain. En effet, la zone en amont peut être très courte voir inexistante dans certains cas. La zone centrale peut avoir une pente très variable avec des dépressions internes. A certains endroits des cordons sableux à modelé dunaire (macro-structure d'orientation NE-SO) se superposent à cette formation.

Ainsi, l'apparente homogénéité des jupes sableuses telle que nous l'avons décrite ci-dessus est à remettre en cause.

Avec toutes les variations et les imprécisions qu'elle comporte, il est extrêmement difficile de se situer sur le terrain. Nous sommes donc ici en face d'un problème méthodologique majeur qui s'est ressenti lors de la réalisation de la carte des états de surface. Cette imprécision des unités géopédologiques devra être levée lors de la poursuite de nos travaux.

Pour conclure, il n'existe à priori pas de distinction pertinente pour toute la zone entre les plateaux cuirassés et les bas-fonds.

- Les bas-fonds : le plus bas niveau de la toposéquence

Les bas-fonds constituent la dernière partie du transect topographique que nous avons décrit jusqu'à présent et qui va jusqu'à l'axe du Kori. Ces bas-fonds sont sableux à nappe temporaire et se marquent surtout par le changement de couleur des sables qui deviennent plus clair (blanc, 7.5YR 7/4) et par une pente très faible ($\leq 1\%$).

Une distinction est faite entre les "bombements (replats et contrepentes très dégradées recueillant des sédiments grossiers et une humidité favorable au développement des ligneux)

et le "chanfrein" (zone de raccord entre les bombements et le kori) à pente forte (5%), à surface claire très dégradée avec des croûtes d'érosion dominantes, entaillées par des griffes d'érosion.

Là aussi les distinctions présentées ci-dessus ne sont pas toujours évidentes à faire sur le terrain. En effet, le lit du kori peut être très large et le chanfrein quasiment inexistant, etc...

2.2. DIAGNOSTIC GEOMORPHOLOGIQUE

A chacune des grandes unités du paysage diagnostiquées tant bien que mal selon leur description géopédologique correspond une formation végétale reliée à une exploitation du sol par l'homme caractéristique.

Cet élément supplémentaire à la lecture du paysage peut nous aider à mieux diagnostiquer les grands ensembles décrits dans le paragraphe précédent. On parle alors d'unités géomorphologiques du paysage.

Dans ce paragraphe, nous nous appuyerons également largement sur l'ouvrage de Courault, d'Herbes et Valentin (1990).

- Les plateaux cuirassés

Les ensablements des plateaux sont généralement bordés d'une bande ligneuse dense, à l'intérieur desquelles on peut trouver des petites mares.

Sur le reste des plateaux, on trouve une formation classique constituée d'une alternance de sols nus et de bandes végétalisées. Ces bandes sont plus ou moins organisées, parallèlement aux bordures du plateau et semblent prendre une organisation concentrique au centre du plateau. Elles sont plus ou moins contractées suivant les conditions topographiques locales : on peut alors distinguer la brousse tigrée proprement dite (bande de sol nu de 40-60 m, bande de végétation de 20-30 m), la brousse persillée, la brousse mouchetée ... (Boulet et Gavaud, 1967).

Cette formation de végétation naturelle est à dominante de combrétacées. Elle est très exploitée par les forestiers pour l'approvisionnement en bois énergie pour des grands centres urbains comme Niamey (Delabre, 1993).

- Le piémont dégradé des plateaux ou jupe sableuse

Sur cette formation, l'espèce végétale dominante est le *Guiera senegalensis*. On y trouve généralement les plus vieilles jachères et/ou les plus dégradées (Delabre, 1992).

- La glacis : entre la jupe sableuse et le bas-fond

Cette formation est une zone sur laquelle on observe un "patchwork" de champs (champs de brousse par opposition à champs de case rencontrés généralement dans les bas-fonds à proximité des villages) et de jachères. A priori, plus on va dans les parties basses de

la toposéquence, plus les champs cultivés dominent par rapport aux jachères, les ravines d'érosion deviennent de moins en moins profondes, et enfin les plages enherbées sableuses avec arbustes dominant par rapport aux plages lisses érodées.

Les espèces ligneuses et herbacées peuvent être très variées.

Ces observations sont très générales et ne s'appliquent pas systématiquement dans le détail.

C'est donc encore une fois dans cette zone géopédologique floue que les formations végétales et l'exploitation du sol par l'homme est la plus variable, la moins déterminante.

- La zone d'épandage du glaciais

Cette zone serait délimitée en aval par une bande de ligneux haute, parallèle à l'axe du kori principal. La partie amont présenterait un recouvrement herbacé important, disposé en croissant (25 à 50%).

La distinction entre le glaciais et cette zone d'épandage est en fait quasiment impossible à observer sur le terrain. Les épandages sont soit très localisées soit tellement diffus qu'ils en deviennent invisibles. Les espèces végétales ne sont pas à priori très différentes non plus et la bande de ligneux haute parfois absente. Il est extrêmement difficile de savoir à quelle moment on passe du glaciais proprement dit à cette zone d'épandage. Ce problème de reconnaissance sur le terrain d'une "frontière", d'une "limite" n'est à l'heure actuelle pas résolu. Les transitions d'un ensemble géomorphologique à l'autre sont en fait très progressives (continuum).

- Les bombements des bas-fonds

Malgré l'humidité favorable au développement des ligneux dans cette zone, la diversité arbustive reste faible.

On y trouve tout aussi bien des jachères anciennes, des jachères récentes que des champs cultivés, donc rien de très discriminant à priori.

Courault, d'Herbes et Valentin y voient tout de même une certaine organisation. Pour eux, plus on s'approche du chanfrein moins la végétation est importante et bien développée, plus les termitières arasées forment de grandes tâches circulaires blanches bien lisses, plus les populations verticales et horizontales d'herbacées et de ligneux sont relativement homogènes.

Une fois encore, ces distinctions visuelles n'apparaissent pas très clairement sur le terrain.

- Les chanfreins et koris

Sur les chanfreins, il n'y a rien de plus à dire en particulier, si ce n'est que ce sont des zones de mise en vitesse de l'eau, convexes et encroûtées. Elles sont plus ou moins marquées et importantes. C'est une zone de transition. Par contre, dans les parties les plus larges du lit principal, l'installation d'enclos de manioc ou d'arbres fruitiers, manguiers, sont assez caractéristiques.

2.3. LES GRANDES UNITES PAYSAGERES RETENUES

Finalement, étant données les imprécisions et les confusions quant aux définitions des grandes unités paysagères du site central (unités géo-morphopédologiques), nous avons été contraints de distinguer seulement les quatre grands ensembles suivants:

- **les plateaux cuirassés**
- **le versant** dans son ensemble entre les plateaux et les bas-fonds : dépôts éoliens
- **les bas-fonds** : système alluvial
- **les cordons sableux** à modelé dunaire : macro-structure d'origine éolienne superposée aux ensembles précédents.

Nous avons effectivement constaté lors de nos relevés cartographiques sur le terrain et dès les premiers traitements des données que les distinctions des unités paysagères faites par Courault, d'Herbes et Valentin (à défaut de mieux) n'étaient pas ou difficilement applicables sur le terrain. Il a vraiment été impossible de distinguer plus de 4 grandes unités si nous voulions garder une rigueur scientifique.

Ce que nous avons voulu souligner ici, c'est donc le manque d'une "géomorphologie" adaptée à la zone d'étude, rendue difficile de par les faibles variations topographiques. Ultérieurement, il sera nécessaire d'avoir une démarche plus analytique (profondeur du sol, pente, texture, etc...).

Au sein de l'ORSTOM Niamey tout particulièrement, il faut donc créer à l'avenir un programme spécifique pour une étude géomorphologique poussée et complète de la région. Cette nécessité est ressentie par tous les chercheurs qui s'intéressent à cette région.

3. RELEVES CARTOGRAPHIQUES SUR LE TERRAIN

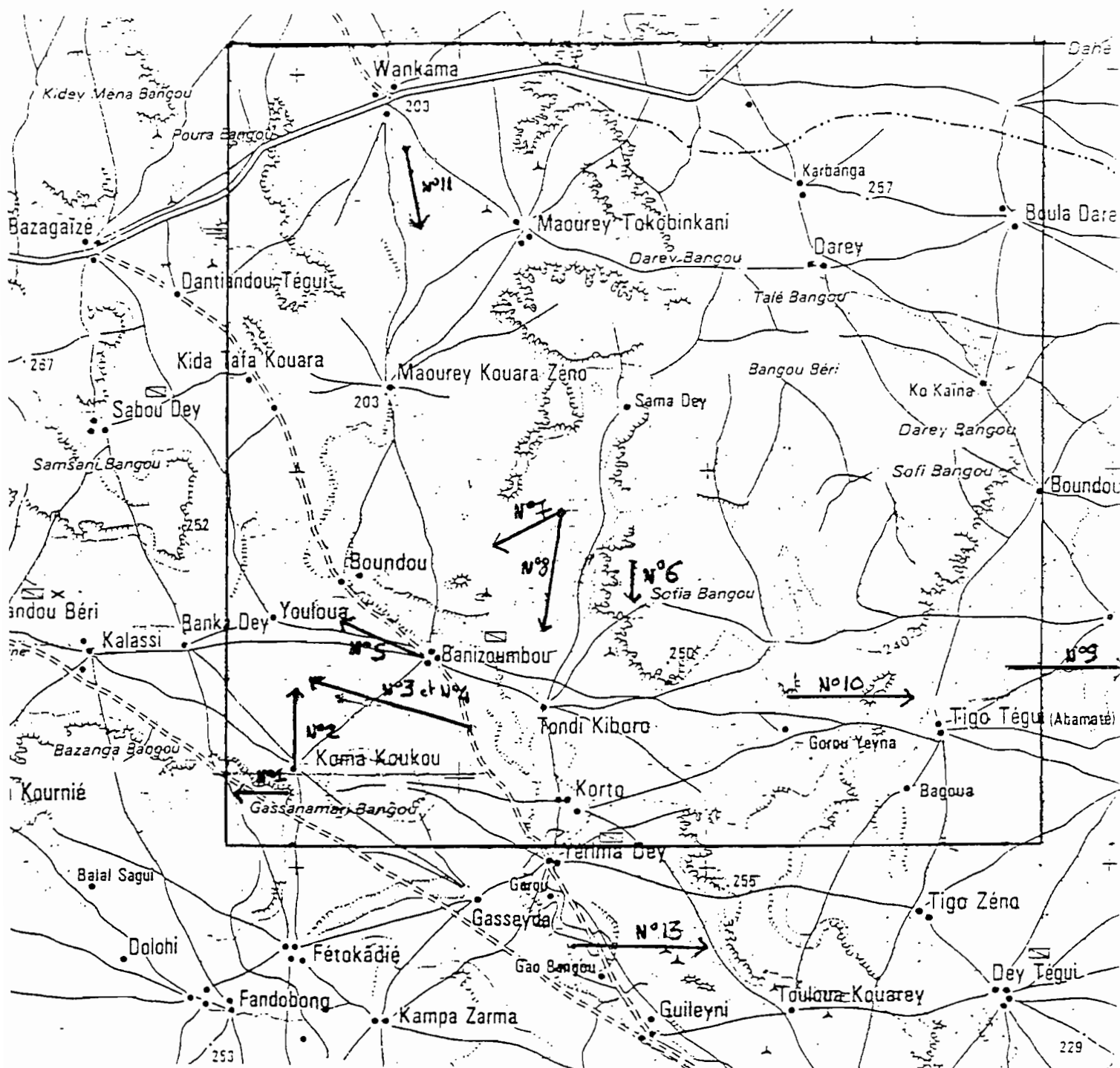
3.1. LES TRANSECTS CARTOGRAPHIQUES

Le transect cartographique est une ligne abstraite qui découpe une portion du paysage avec un point de départ et un point d'arrivée connus (coordonnées GPS -Global Positioning System- plus, si possible, une particularité sur le terrain facilement repérable - croisements de pistes ou de kouris, gros arbre bien repéré, etc... -), une direction et une longueur donnée.

Sur l'ensemble du site central, douze transects ont été positionnés, d'une longueur variant de un à quatre kilomètres. Ils ont été placés, après une observation rapide de photos aériennes et/ou d'images satellite, sur les différents grands découpages du paysage identifiés à priori. Dans chacun de ces découpages, un ou deux transects ont été positionnés précisément sur le terrain selon les critères de choix cités ci-dessus (carte 2).

Echelle 1/200 000ème

4 km



Carte 2 : Situation des transects sur le site central

Le repérage précis des transects sur le terrain est très important si l'on veut pouvoir, à posteriori, les replacer correctement sur les images satellitaires et, si l'on veut pouvoir les parcourir de façon tout à fait identique d'une époque de l'année à une autre, ou même d'une année sur l'autre. En 1992, des relevés cartographiques ont été effectués sur ces douze transects fin Août et fin Septembre.

A chaque début et fin de transects une marque de peinture vive a été tracée afin d'éviter au maximum l'erreur du repérage sur le terrain. D'une époque de l'année à l'autre, le paysage peut tellement varier qu'il est parfois difficile de retrouver certains points de repères visuels. De plus, même avec une direction donnée (utilisation de la boussole) et une longueur donnée (utilisation du podomètre), il est très facile de dévier et de passer complètement à côté du point d'arrivée. L'idéal aurait été de pouvoir tracer des marques de plusieurs mètres de longueur et d'épaisseur, visibles sur photos aériennes à petite échelle. Pour des raisons de logistique, ceci n'a pas pu être fait en 1992 et 1993.

Des vols à basse altitude en ULM et petit avion bi-places sur les transects ont été effectués en 1992 et 1993. En raison des problèmes de repérage des transects cités ci-dessus et de diverses problèmes techniques (difficulté de garder un cap, fréquence des prises de vue, etc...), les photos obtenues à l'heure actuelle ne sont pratiquement pas utilisables. Un effort de mise au point technique de ce type d'observation aérienne devrait être fait en 1994.

Ainsi, les douze transects échantillonnés présentent les caractéristiques suivantes (tableau 1). Les numéros 1 et 6 sont sur plateaux cuirassés et, tous les autres sur zones à dominante de cultures.

Tableau 1 : Positionnement et longueur des transects cartographiques

N° Transects	Coordonnées GPS: départ		Coordonnées GPS: arrivée		Direction	Longueur (km)
	latitude	longitude	latitude	longitude		
1	13°29'47"	2°37'40"	13°29'48"	2°36'54"	270°	1.5
2	13°30'16"	2°37'50"	13°31'18"	2°37'54"	360°	2
3 et 4	13°30'43"	2°40'10"	13°31'24"	2°37'30"	290°	4
5	13°31'50"	2°39'28"	13°32'12"	2°38'18"	300°	2
6	13°33'05"	2°43'05"	13°32'24"	2°42'06"	180°	1
7	13°33'31"	2°41'15"	13°33'06"	2°40'24"	245°	2.5
8	13°33'31"	2°41'15"	13°31'42"	2°41'	185°	3
9	13°31'16"	2°47'33"	13°31'36"	2°49'	90°	3
10	13°31'17"	2°44'39"	13°31'12"	2°46'	90°	2.5
11	13°38'43"	2°39'18"	13°37'24"	2°39'18"	176°	2

Le long de chacun de ces transects, une description au sol du paysage est faite. A chaque changement d'unités cartographiques correspond un relevé cartographique. Pour ce faire, deux observateurs sont nécessaires, un pour suivre précisément la ligne du transect et en mesurer principalement la longueur (le podomètre calculant la distance parcourue en fonction du nombre de pas effectués) et l'autre, pour circuler librement sur l'ensemble de l'unité et noter les observations.

La première difficulté méthodologique consiste à déterminer à quel moment on passe d'une unité cartographique à une autre.

A l'échelle du 1:50000, une unité cartographique est une surface définie par une combinaison spécifique des éléments du paysage. Elle ne correspond pas à des surfaces élémentaires mais à des associations de surfaces caractéristiques et courantes. Elle est une sous-unité des grandes unités paysagères décrites dans le chapitre précédent. Sa détermination au sol est visuelle et par la même dépendante de l'observateur.

Une liste des éléments retenus pour décrire une unité cartographique est présentée dans le chapitre suivant.

Le passage d'une unité cartographique à une autre se fait lorsque un ou plusieurs de ces descripteurs changent et/ou lorsque l'agencement de ces descripteurs diffère.

Dans le domaine cultivé de notre aire d'étude, les limites d'une unité cartographique correspondent souvent à celles d'une parcelle, généralement marquées par une haie d'arbustes. Cependant, cette correspondance n'est pas systématique. En effet, à titre d'exemple, si une partie d'un champ de mil est sarclée et l'autre non, deux unités cartographiques sont distinguées.

3.2. LES ELEMENTS DESCRIPTIFS DU PAYSAGE RELEVES SUR LE TERRAIN

Les éléments descriptifs des unités cartographiques que nous avons retenus sont les suivants : N° d'unité, longueur, géomorphologie, occupation du sol, pente, états de surface du sol dominants, % de sol nu, mésorelief, microrelief, couleur, % des ligneux globaux et stratification verticale, % des herbacées globales et stratification verticale, stade phénologique, espèces dominantes, divers. Etant donné le grand nombre des descripteurs retenus, une fiche de relevé synthétique a été mise en forme pour faciliter la prise de notes sur le terrain (annexe 1). Une codification existe pour chacun des éléments décrits afin de faciliter également la prise de note sur le terrain dans un premier temps et de préparer le traitement des données dans un deuxième temps.

Pour la géomorphologie générale, comme nous l'avons déjà dit, 4 grands types ont été retenus : plateau cuirassé, versant (dépôts éolien), bas-fonds (système alluvial) et dunes.

Huit types d'occupation des sols ont été différenciés selon la codification suivante (tableau 2):

Tableau 2 : Codification des types d'occupation du sol pour les relevés de terrain

TYPES D'OCCUPATION DU SOL	CODES
Champs de mil	1
Champs mil/niébé	2
Jachères récentes (1 à 2 ans)	3
Jachères anciennes	4
Végétation naturelle (sur plateaux)	5
Champs mil/niébé/oseille	6
Champs de cultures associées ("champs de femmes")	7
Pistes, sentiers	8

Six classes de pente ont été retenues selon la codification suivante (tableau 3):

Tableau 3 : Codification des classes de pente pour les relevés de terrain

CLASSES DE PENTE	0	]0-1]	]1-2]	]2-3]	]3-6]	>=6
CODES	1	2	3	4	5	6

Le recouvrement de sol nu, ainsi que le recouvrement global des ligneux et le recouvrement global des herbacées, sont notés en clair. La somme de ces trois chiffres doit faire 100%. Le recouvrement de ces états de surface est estimé visuellement à l'aide des "planches de pourcentage de recouvrement" fournies dans l'ouvrage de Casenave et Valentin (1989). Un exemple de ces planches est donné dans l'annexe 2 .

Pour la stratification verticale des ligneux, nous avons distingué 6 classes de hauteur : supérieur à 4m, entre 2 et 4m, 1 et 2m, 50cm et 1m, 25 et 50cm et inférieur à 25cm. Pour les herbacées, seules trois classes de hauteur ont été différenciées : supérieur à 50cm, entre 25 et 50cm et inférieur à 25cm. Le recouvrement de chacune de ces strates (ligneuses et herbacées) est estimé selon les classes de recouvrement ci-dessous (tableau 4). L'ensemble des classes de hauteur pour les ligneux doit correspondre (même ordre de grandeur) au pourcentage des ligneux globaux. Il en est de même pour les herbacées.

Tableau 4 : Classes de recouvrement pour la stratification verticale des herbacées et des ligneux sur le terrain

CLASSES DE RECOUVREMENT	]0-5]	]5-10]	]10-25]	]25-50]	]50-75]	>75
CODES	1	2	3	4	5	6

De plus, les espèces ligneuses et herbacées dominantes sont spécifiées. Environ 130 espèces ont été recensées. Leur liste avec la codification correspondante se trouve en annexe 3. Les stades phénologiques des herbacées et des ligneux dominants lors du relevé de terrain sont également notés. Huit stades sont différenciés selon la codification suivante (tableau 5):

Tableau 5 : Codification des stades phénologiques pour les relevés de terrain

STADES PHENOLOGIQUES	ABREVIATION S	CODES
Germination	Ge	1
Stade végétatif	Vg	2
Fructification	Fr	3
Floraison	Fr	4
Epiaison	E	5
Sénescence	Se	6
Montaison	M	7
Sec	Sec	8

Le mésorelief (de l'ordre du mètre) et le microrelief (de l'ordre du cm) sont décrits selon les critères retenus par Casenave et Valentin (1989). Cinq types de mésorelief ont été retenus et six types de microrelief selon la codification suivante (tableau 6 et tableau 7):

Tableau 6 : Codification des types de mésorelief pour les relevés de terrain

TYPES DE MESORELIEF	CODES
Plan	1
Buttes	2
Ondulations	3
Chenaux	4
Ravines	5

Tableau 7 : Codification des types de microrelief pour les relevés de terrain

TYPES DE MICRORELIEF	CODES
Rigoles	1
Alvéoles	2
Creux	3
Mottes	4
Rides	5
Plan	6

Toujours selon les critères de Casenave et Valentin (1989), quatre états de surface du sol ont été retenues: les microhorizons affleurants argileux (croûtes d'érosion), les microhorizons affleurants sableux, la litière et les cailloux (gravillons, graviers, cailloux, pierres, rocs). Leur couleur respective est noté selon le code Munsell. Le recouvrement de chacun de ces états de surface est noté en clair. Leur somme doit être égale à 100%, ce qui signifie qu'ils comprennent les états de surface du sol sous végétation.

La colonne "observations" de la fiche de relevé concerne tous les éléments remarquables qui ne rentrent dans aucune des catégories précédentes. Dix de ces observations ont été considérées comme déterminantes pour la définition visuelle d'une unité cartographique selon la codification suivante (tableau 8):

tableau 8 : Codification des observations relevées sur le terrain

OBSERVATIONS	CODE
Semis	1
Brûlis	2
Non sarclé	3
Non défriché	4
Pâturé	5
Termitières/fourmilières	6
Fumier/Matière organique	7
Ravine	8
Flaques/marres	9
Coupe/ramassage de bois	10

4. PREMIER TRAITEMENT DES DONNEES : UNE TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES

Ce premier travail a pour objectif de regrouper toutes les informations de terrain obtenues et de les simplifier. En effet, le long des 12 transects cartographiques, 147 unités cartographiques ont été différenciées. Or, d'un transect à l'autre ou, sur un même transect, certaines de ces unités sont très proches et peuvent donc être regroupées à un moindre degré de précision.

Cette typologie a été effectuée à partir des relevés de terrain fin Septembre 1992, époque où la végétation est à son pic de production. Malgré le risque de distinguer plus difficilement les éléments du paysage (fort taux de recouvrement des diverses formations végétales,...) d'une unité cartographique à l'autre, le choix de cette période de l'année découle de la forte probabilité qu'au pic de production leur variation interannuelle soit la plus faible. A l'avenir, il faudra envisager un même travail de description au sol et ceci à différentes époques de l'année afin de vérifier si les diverses typologies obtenues se recoupent.

Dans les chapitres suivant, nous présenterons les outils statistiques ADDAD (Classification Ascendante Hiérarchique et Analyse en Composantes Principales) utilisés pour la réalisation de la typologie.

4.1. ELEMENTS DESCRIPTIFS DU PAYSAGE RETENUS POUR LES TRAITEMENTS STATISTIQUES

Après réflexion et quelques essais de traitements statistiques (Analyse en Composantes Principales), nous avons dû réduire le nombre initial des éléments descriptifs au nombre de neuf : la géomorphologie générale, l'occupation du sol, les recouvrements sol nu/ligneux/herbacées, les recouvrements cailloux/ microhorizons sableux/microhorizons argileux/litière.

La pente n'a pas été retenue étant donné son degré d'imprécision (estimation visuelle et non une mesure au clisimètre) et du fait qu'elle est liée à la géomorphologie.

La stratification verticale des ligneux et des herbacées n'a pas non plus été retenue pour le traitement statistique proprement dit mais elle sera utilisée à posteriori pour la description finale des classes obtenues. En effet, la prise en compte de cette caractéristique ajoute 9 descripteurs dans le traitement statistique et, par son hétérogénéité apparente, cache les regroupements possibles des unités cartographiques.

Les espèces herbacées et ligneuses dominantes sont des descripteurs utilisés de la même façon que les stratifications verticales, c'est à dire après traitement statistique. On suppose a priori qu'elles ne sont pas indépendamment déterminantes à notre échelle d'étude, qu'elles dépendent des autres descripteurs retenus, qu'elles les précisent.

Les stades phénologiques ont été rejetés d'entrée puisque, à une même époque de l'année, ils sont globalement les mêmes d'un endroit à l'autre. Ceci est vrai à l'échelle de précision du cartographe dans le milieu particulier sur lequel nous travaillons.

Pour le mésorelief et le microrelief, étant donné le faible degré de précision des observations, les descripteurs obtenus au sol ont été considérés comme mal définis et trop homogènes d'une unité cartographique à l'autre.

Enfin, les observations diverses n'ont pas non plus été prise en compte car nous avons considéré qu'elles expliquaient les autres descripteurs retenus. A titre d'exemple, le fait qu'un champ est ou n'est pas sarclé implique une variation du taux de recouvrement de la strate herbacée.

Ainsi, neuf descripteurs des unités cartographiques ont définitivement été retenus pour un traitement statistique finale et exploitable dans le but de réaliser une typologie.

4.2. OUTILS ET TRAITEMENTS STATISTIQUES

4.2.1. Le tableau de données

Les données dont nous disposons se présentent donc sous la forme de 147 unités cartographiques décrites par 9 variables ; ces derniers étant tout aussi bien d'ordre quantitatif (taux de recouvrement) que d'ordre qualitatif (codification nécessaire pour la géomorphologie et l'occupation du sol). Ces 147 unités sont numérotées de 1 à 147, mais, en fait, les unités 18 et 44 sont tout de suite écartées des traitements statistiques car trop différentes des autres (elles correspondent en fait à des pistes); ce qui fait que nous n'avons en réalité que 145 unités numérotées de 1 à 147 moins les numéros 18 et 44.

L'objectif du traitement statistique est de classer ces 145 unités en un nombre réduit de classes significatives, décrites au travers de 9 éléments. Pour ce faire, nous utilisons parallèlement deux programmes du logiciel ADDAD : CAHVOR (Classification Ascendante Hiérarchique : méthode des voisins réciproques) pour la classification proprement dite et ANCOMP (Analyse en Composantes Principales) pour valider cette dernière et surtout l'expliquer.

Les deux programmes utilisés permettent de traiter un tableau de données comportant uniquement soit des nombres réels, soit des nombres positifs obtenus après codification. Afin d'homogénéiser nos types d'informations (quantitatives et qualitatives), nous avons été obligés préalablement de regrouper les nombres réels en classes les plus homogènes et les plus significatives possibles et de codifier ces dernières. Dix classes de taux de recouvrement ont été ainsi différenciées comme le précisent les deux tableaux ci-dessous (tableau 9 et tableau 10) après observation de la dispersion des taux pour chaque élément. Les taux de recouvrement pour les ligneux ont été différenciés car ils se répartissent essentiellement entre 0 et 30%.

Tableau 9 : Codification des classes de taux de recouvrement (sol nu, herbacées globales, microhorizons sableux et argileux, cailloux, litière) pour la typologie

Classes de taux de recouvrement (sol nu/ herbacées globales/ microhorizons sableux et argileux/ cailloux/ litière)	CODES
[0-5[	1
[5-15[	2
[15-25[	3
[25-35[	4
[35-45[	5
[45-55[	6
[55-65[	7
[65-75[	8
[75-85[	9
[85-100]	10

Tableau 10 : Codification des classes de taux de recouvrement spécifique aux ligneux pour la typologie

Classes de taux de recouvrement (ligneux globaux)	CODES
[0-5[	1
[5-10[	2
[10-15[	3
[15-20[	4
[20-25[	5
[25-30[	6
[30-35[	7
[35-50[	8
[50-75[	9
[75-100]	10

En ce qui concerne la géomorphologie générale et l'occupation des sols, les codifications utilisés sur le terrain sont conservées.

Notre tableau d'entrée statistique est donc un grand tableau de nombres entiers positifs croisant 145 lignes (individus) et 9 colonnes (variables). Ce type de tableau (annexe 4) est appelé "tableau de correspondance".

4.2.2. Une Classification Ascendante Hiérarchique : CAHVOR

CAHVOR est un programme de classification hiérarchique selon la méthode des voisins réciproques (ADDAD, 1989).

Comme notre objectif est de classer les individus, la classification est effectuée sur les lignes du tableau.

Si $KIJ(i,j)$ est le tableau d'entrée, $KI(i)$ et $KJ(j)$ les sommes des éléments en ligne et en colonne, K la somme totale, on calcule les fréquences :

$$FIJ(i,j) = KIJ(i,j)/K$$

$$FI(i) = KI(i)/K$$

$$FJ(j) = KJ(j)/K$$

Les NI éléments à classer sont dans l'espace des NJ colonnes, en fonction de leurs profils. Le centre de gravité du nuage est donné par les fréquences marginales FJ(j). La distance entre deux points est la distance du Chi2 :

$$d2(i,i') = \text{SOM} \left(\frac{(FIJ(i,j)/FI(i) - FIJ(i',j)/FI(i'))^2}{FJ(j)} \right); j=1, NJ$$

La masse d'un élément i est sa fréquence marginale FI(i).

Le critère d'agrégation programmé est celui du moment centré d'ordre 2 d'une partition. A chaque pas, on minimise la variance intra-classe de la partition construite.

Si q et q' sont deux classes contenant des éléments de I, le critère s'écrit :

$$c(q,q') = \frac{mq * mq'}{mq + mq'} * d2(q,q')$$

mq et mq' sont les masses des classes q et q' et d est la distance entre les centres de gravité des deux classes.

L'algorithme utilisé dans CAHVOR est celui des voisins réciproques. A chaque pas, on utilise au maximum l'information apportée par les distances entre éléments (ou le critère d'agrégation qui en tient lieu) en réunissant tous les voisins réciproques. Cet algorithme a été préféré à celui des voisins réductibles (programmé dans CAH2CO) puisqu'il semble plus rapide et mieux adapté au cas des grands tableaux de facteurs.

Après traitement de nos données par CAHVOR, 10 classes ont été a priori retenues (annexe 5). Le nombre de dix a été choisi puisque ce nombre est considéré comme suffisant et raisonnable pour traduire le degré d'hétérogénéité des unités cartographiques caractéristiques du paysage à l'échelle de notre aire d'étude (tableau 11).

Tableau 11 : Distribution des individus dans les 10 classes de la typologie

N° de classe	N° des individus
1	1, 57, 61, 62, 64
2	10, 54, 58, 60, 63
3	3, 4, 5, 7, 8, 9, 47, 51, 52, 59, 65, 66, 67, 77, 80, 93, 113, 128, 130, 147
4	6 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 72, 74, 85, 94, 96, 114, 140, 145
5	15, 34, 36, 46, 49, 100, 102, 104, 107, 119, 122, 138, 143
6	39, 82, 95, 97, 99, 103, 105, 118, 121, 123, 126, 132, 134, 135, 142
7	11, 12, 16, 21, 73, 75, 84, 86, 88, 91, 101, 106, 115, 120, 131
8	2, 13, 14, 19, 20, 24, 25, 35, 40, 50, 56, 76, 92, 111, 116, 117, 129, 144
9	55, 68, 69, 70, 71, 78, 79, 81, 83, 87, 89, 90, 146
10	17, 48, 53, 98, 108, 109, 110, 112, 124, 125, 127, 133, 136, 137, 139, 141

4.2.3. Une Analyse en Composantes Principales : ANCOMP

- Qu'est-ce qu'une ACP ? (Philippeau, 1986)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des "individus" sur lesquels sont mesurés des "variables quantitatives" ou pouvant être considérées comme telles. Pour notre cas d'application, le tableau d'entrée peut donc être exactement le même que celui utilisé pour la Classification Ascendante Hiérarchique.

L'ACP peut être utilisée pour savoir :

- Comment se structurent nos variables ? Quelles sont celles qui sont associées ? Quelles sont celles qui ne le sont pas ? Quelles sont celles qui "vont dans le même sens" ? Quelles sont celles qui s'opposent ?
- Et/ou comment se répartissent nos individus : quelles sont ceux qui se ressemblent ? Quelles sont ceux qui sont dissemblables ? Pour quelles raisons ?

Dans notre cas d'étude, nous considérons les 9 variables retenues comme indispensables et suffisamment indépendantes pour caractériser au mieux une ou un ensemble d'unités cartographiques. Au travers de l'ACP, nous ne cherchons donc pas tant à savoir comment se structurent nos 9 variables, mais plutôt quels sont les individus qui se ressemblent et surtout, pour quelles raisons ?

La Classification Ascendante Hiérarchique nous classe effectivement les individus, mais elle nous explique pas pourquoi tel et tel individu ont été regroupés. Grâce à l'ACP, nous

cherchons à vérifier que le regroupement obtenu par CAHVOR est justifié et surtout comment expliquer ce regroupement. Nous utilisons donc ces deux programmes statistiques ADDAD de façon complémentaire. Etant donné le grand nombre et l'hétérogénéité apparente de nos individus, nous avons choisi cette méthode de travail afin de simplifier l'interprétation des données. La Classification Ascendante Hiérarchique permet de nous mâcher un peu le travail d'interprétation de l'ACP.

La phase essentielle de l'ACP consiste à transformer les p variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en p nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales ou axes principaux. Afin d'éviter que les résultats de l'ACP soient influencés par l'ordre de grandeur des variables, les données sont centrées-réduites, c'est à dire divisées par leur écartype respectif.

- Interprétation des résultats dans notre cas d'étude

Le premier travail effectuée par l'ACP , lorsque l'on donne le même poids à chaque variable, est la matrice des corrélations présentée ci-dessous (tableau 12):

Tableau 12 : Matrice des corrélations

1MATRICE DES CORRELATIONS

(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1000)

	MOR	OCC	SN	CR	CAL	SAB	LIT	LIG	HG
MOR	1000								
OCC	-184	1000							
SN	-293	25	1000						
CR	-242	105	-239	1000					
CAL	-426	160	320	-66	1000				
SAB	464	-184	11	-813	-474	1000			
LIT	-2	-32	-209	66	-53	-79	1000		
LIG	-160	132	-512	489	-54	-393	283	1000	
HG	494	-105	-842	-29	-350	256	8	39	1000

MOR=géomorphologie; OCC=occupation du sol; SN=sol nu; CR=microhorizon affleurant argileux; CAL=cailloux; SAB=microhorizon affleurant sableux; LIT=litière; LIG=ligneux globaux; HG=herbacées globales.

Plus le coefficient de corrélation entre deux variables est élevé en valeur absolue, plus ces dernières sont dépendantes, qu'elles varient dans le même sens (signe positif) ou dans le sens opposé (signe négatif). Ainsi, l'analyse de la matrice obtenue sur nos données confirme globalement que les 9 variables choisies sont suffisamment indépendantes

(coefficients inférieurs à |500|). Toutefois, l'une des deux variables (les microhorizons sableux ou les microhorizons argileux), avec un coefficient de corrélation de -813, aurait pu ne pas être retenue. Globalement, moins il y a de croûtes d'érosion, plus il y a de microhorizons affleurants sableux.

La deuxième opération effectuée par l'ACP est une opération mathématique qui s'appelle la "diagonalisation". Cette opération, impossible à exécuter à la main, fournit une matrice "diagonale" des "valeurs propres" présentée ci-dessous (tableau 13). Les valeurs propres représentent les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Tableau 13: Matrice diagonale des valeurs propres

LES VALEURS PROPRES		VAL(1) = 2.73845							
! NUM !	! VAL PROPRE !	! POURC. !	! CUMUL !	! VARIAT. !	! * !	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES			
! 1 !	2.73845 !	30.427 !	30.427 !	***** !	* !	*****	*****	*****	*****
! 2 !	2.39614 !	26.624 !	57.051 !	3.803 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 3 !	1.02450 !	11.383 !	68.434 !	15.240 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 4 !	.94618 !	10.513 !	78.947 !	.870 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 5 !	.80372 !	8.930 !	87.878 !	1.583 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 6 !	.58186 !	6.465 !	94.343 !	2.465 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 7 !	.45508 !	5.056 !	99.399 !	1.409 !	* !	*****	*****	*****	*****
! 8 !	.03139 !	.349 !	99.748 !	4.708 !	* !	*			
! 9 !	.02267 !	.252 !	100.000 !	.097 !	* !				

Après cette matrice, nos 145 individus ont une variance de 2.74 sur le premier axe, 2.40 sur le deuxième, etc...

Dans une ACP sur données centrées et réduites, il est conseillé de ne conserver que les axes dont la valeur propre est supérieure à 1 ou 0.8, ce qui correspond dans notre cas aux 5 premiers. 87.9% de l'information est visible sur ces 5 premiers axes et nous considérons cette information "suffisante".

La représentation des variables sur chacune de ces 5 composantes principales est représentée dans le tableau suivant (lecture en colonne des CTR : Contribution de l'élément à l'axe) (tableau 14). Ainsi, l'axe N°1 est représenté à 21.6% par la première variable (géomorphologie générale), 3.8% par la seconde, etc...

Tableau 14 : Représentation des variables sur les 5 composantes principales (lecture des CTR)

	J1	QLT POI IN D R	1#F CO CT R R	2#F CO CT R R	3#F CO CT R R	4#F CO CT R R	5#F CO CT R R
1	MOR	604 1 111	-769 591 216	70 5 2	-62 4 4	-43 2 2	48 2 3
2	OCC	977 1 111	322 104 38	82 7 3	-425 180 176	768 591 624	310 96 119
3	SN	963 1 111	434 188 69	-833 694 290	116 13 13	-115 13 14	233 54 67
4	CR	929 1 111	506 256 93	680 463 193	-143 20 20	-368 136 143	231 54 67
5	CAL	957 1 111	630 397 145	-256 65 27	-84 7 7	192 37 39	-671 450 560
6	SAB	923 1 111	-807 651 238	-444 197 82	117 14 13	201 40 43	146 21 26
7	LIT	910 1 111	19 0 0	347 120 50	821 675 659	333 111 118	-59 3 4
8	LIG	705 1 111	260 67 25	763 582 243	166 28 27	116 14 14	118 14 17
9	HG	943 1 111	-696 484 177	513 263 110	-289 83 81	57 3 3	-330 109 136

Nous retiendrons de ce tableau que le premier facteur est expliqué principalement par les variables 1, 6 et 9 (63.1%), le deuxième par les variables 3, 8 et 4 (72.6%), le troisième par la variable 7 (65.9%), le quatrième par la variable 2 (62.4%) et la cinquième par la variable 5 (56%). Nous considérons que l'information est suffisante lorsqu'elle représente environ 60% minimum.

Le tableau suivant (tableau 15) effectué par l'ACP présente, en ligne, la représentation de nos 5 composantes principales dans chaque individu (COR : contribution de l'axe à l'élément) et, en colonne, la représentation des différents individus dans chacune des composantes principales (CTR).

Tableau 15 : Représentation des 5 composantes principales dans les 5 premiers individus (lecture des COR)

	I1	QL POI IN T D R	1#F CO CT R R	2#F CO CT R R	3#F CO CT R R	4#F CO CT R R	5#F CO CT R R
1	1	992 7 23	4365 642 48	-2609 230 20	-209 1 0	597 12 3	-1773 106 27
2	2	332 7 8	1062 104 3	910 77 2	176 3 0	1098 11 9	635 37 3
3	3	875 7 21	4515 752 51	-606 14 1	-462 8 1	-1258 58 12	1080 43 10
4	4	672 7 5	1747 485 8	-293 14 0	-76 1 0	248 10 0	1011 162 9
5	5	576 7 5	1088 181 3	-1320 266 5	-51 0 0	581 52 2	709 77 4

.....

Etant donné que nous cherchons à expliquer non pas les variables mais les individus, nous lirons ce tableau en ligne.

Sur la première ligne, la somme des COR (643+230+1+12+106+...) doit être égal à 1000. Ainsi, 66.6% ((643+230)*100/1000) de l'information de l'individu 1 sont représentés sur le plan principal (c'est à dire le plan formé par les axes 1 et 2).

La difficulté de l'interprétation de la projection graphique des individus sur un plan provient du fait que deux individus peuvent être très proches sur un plan donné et lointain dans un autre plan. Plus il y a d'individus et plus l'interprétation est longue et complexe.

Ainsi, nous avons adopté la méthode qui consiste à identifier dans ce tableau les individus de chacune des classes obtenues par la Classification Ascendante Hiérarchique et, de regarder, en ligne, les une ou deux composantes qui représentent le mieux chacun des individus. A titre d'exemple, l'individu 1 est représenté par la composante 1 à 64.3%, l'individu 2 est mal représenté par les 5 première composantes, le 3 est représenté par la composante 1 à 75.2%, le 4 par les composantes 1 et 5 à 64.7%, etc... L'analyse finale de ce tableau, parallèlement avec des graphiques plan nous donne les résultats tableau 16.

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des distributions des individus dans les 10 classes de la typologie avec les variables caractéristiques correspondantes

N° de classe	Nb d'individus	N° des individus	composantes principales	représentation des variables
1	5	1, 57, 61, 62, 64	1 et 5	MOR, SAB, HG/ CAL
2	5	10, 54, 58, 60, 63	1 et 2	MOR, SAB, HG/ SN, CR, LIG
3	20	3, 4, 5, 7,8, 9,47, 51, 52, 59, 65, 66, 67, 77, 80, 93, 113, 128, 130, 147	1 et 5	MOR, SAB, HG/ CAL
4	26	6, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 72, 74, 85, 94, 96, 114, 140, 145	2 et 4	SN, CR, LIG/ OCC
5	13	15, 34, 36, 46, 49, 100, 102, 104, 107, 119, 122, 138, 143	4 et 2	CR et OCC
6	15	39, 82, 95, 97, 99, 103, 105, 118, 121, 123, 126, 132, 134, 135, 142	1	MOR, SAB, HG
7	15	11, 12, 16, 21, 73, 75, 84, 86, 88, 91, 101, 106, 115, 120, 131	2 et 3	SN, CR, LIG/ LIT
8	18	2, 13, 14, 19, 20, 24, 25, 35, 40, 50, 56, 76, 92, 111, 116, 117, 129, 144	2	SN, CR, LIG
9	13	55, 68, 69, 70, 71, 78, 79, 81, 83, 87, 89, 90, 146	2	SN, CR, LIG
10	16	17, 48, 53, 98, 108, 109, 110, 112, 124, 125, 127, 133, 136, 137, 139, 141	1 et 3	MOR, SAB, HG/ LIT

A titre d'exemple, sur la représentation graphique du plan formé par les axes 1 et 2, les individus de la classe N°2, principalement représentés par ces 2 même axes, sont regroupés.

Il en est de même pour les individus des autres classes dans les plans formés par les deux axes qui les représentent le mieux. Quelques représentations graphiques sont données à la page suivante (figure 1 et 2).

4.3. PRESENTATION DE LA TYPOLOGIE

La typologie présentée sous forme de tableau dans les 4 pages suivantes comprend donc dix "types d'unités cartographiques" obtenues selon les dix classes de la Classification Ascendante Hiérarchique.

La dernière étape pour cette typologie consiste à reprendre le fichier initial des relevés de terrain, regrouper les individus qui constituent chaque classe et effectuer des moyennes. Une moyenne mathématique est faite pour les données quantitatives (recouvrement des états de surface). Pour les données qualitatives, la notion de "moyenne" est beaucoup plus complexe. Nous avons choisi la méthode qui consiste à retenir la "qualité" qui est la plus représentée en nombre sur l'ensemble des individus.

Les chiffres ou les mots qui apparaissent en caractère gras dans le tableau ci-après correspondent aux variables les plus représentatives de chacune des classes. Ces informations nous sont données par l'Analyse en Composantes Principales.

A titre d'exemple, ce qui caractérise le plus la classe N°4, c'est son type d'occupation du sol (champ de mil), son fort pourcentage de sol nu (67%), son faible pourcentage de ligneux (4%) et son faible pourcentage de "croûtes d'érosion" (6%). Les tableaux 17, 18, 19, et 20 présentés ci-après doivent être lus de cette manière.

De plus, étant donné que les classes 1 et 2 sont très peu représentées (5 individus seulement dans chacune d'entre elles), il faut considérer leur description avec précaution. Cette représentativité insuffisante est due à une faiblesse dans l'échantillonnage au départ.

En effet, seulement deux transects d'une longueur de 1 à 1.5 kilomètres se trouvent sur les plateaux. De plus, ces même transects ont été mal positionnés puisqu'ils se situent sur les bordures des plateaux et ne sont pas orientés perpendiculairement aux bandes de végétation (ce qui permettrait de traverser un plus grand nombre d'unités cartographiques). Ainsi, à l'avenir, nous comptons compléter notre échantillonnage dans ce sens

Les abréviations utilisées pour les espèces herbacée et ligneuse sont explicitées en annexe 3.

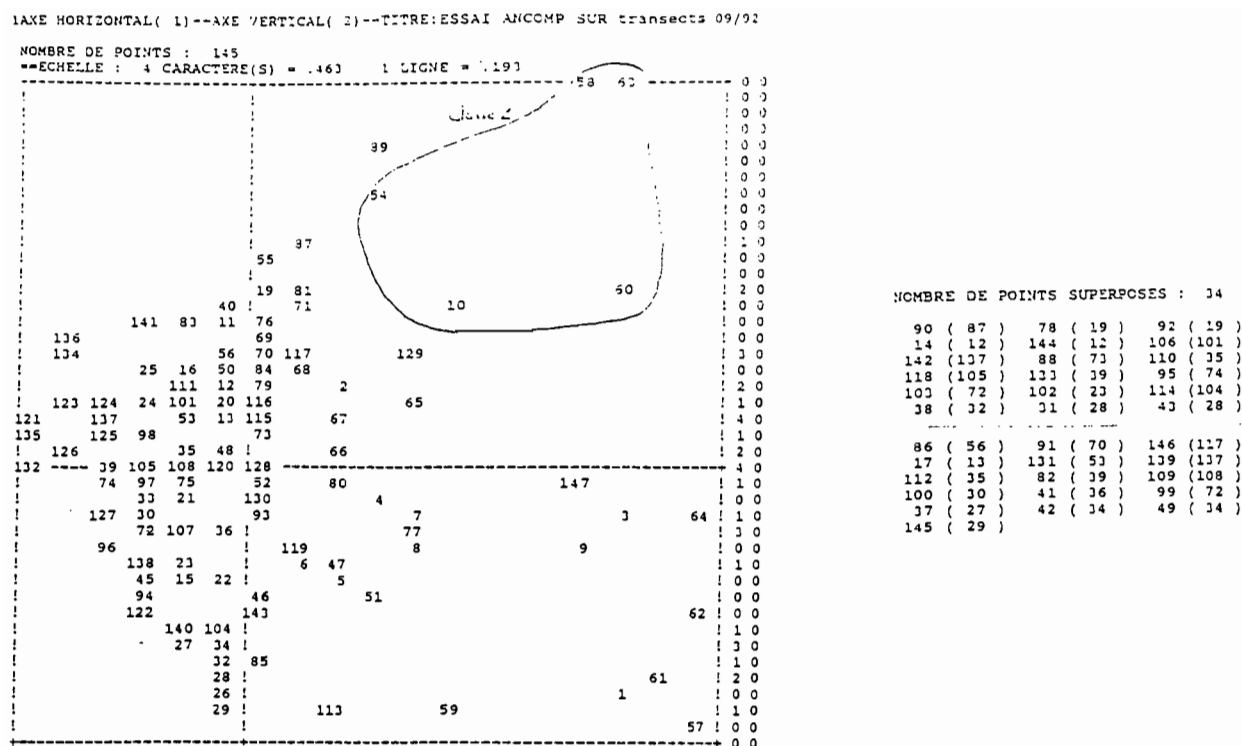


Figure 1 : Représentation graphique des individus de la classe 2 dans le plan 1 et 2

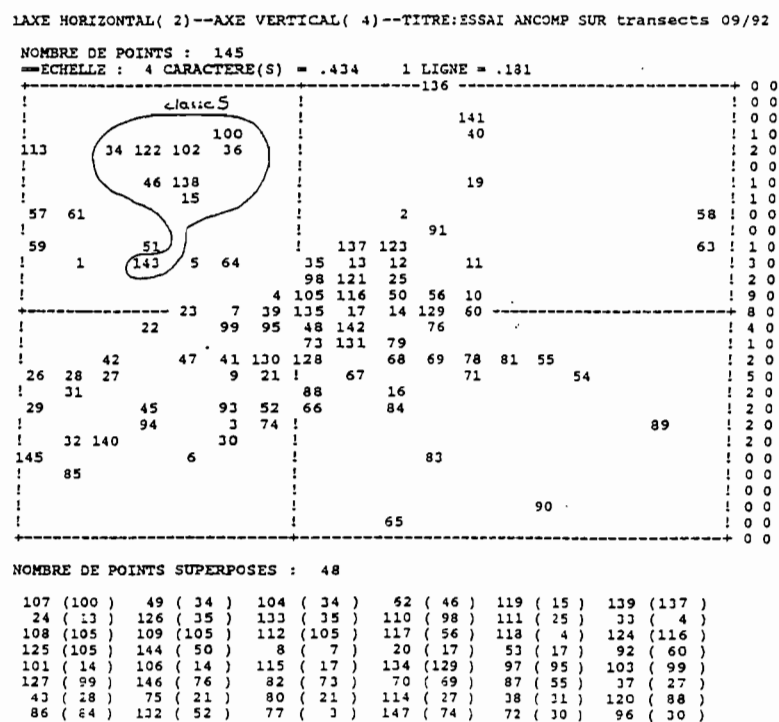


Figure 2 : Représentation graphique des individus de la classe 5 dans le plan 2 et 4

Tableau 17 : Typologie des unités paysagères (début)

N° de classes		1		2		3	
Géomorphologie		Plateau		Plateau		Plateau ou haut de versant	
Occupation du sol		Végétation naturelle		Végétation naturelle		Végétation naturelle / jachères anciennes	
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart
	SN	88	14	15	11	65	13
	HG	6	7	17	10	26	11
	LIG	6	7	68	12	9	4
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	15	13	70	13	44	13
	CAL	70	14	4	8	1	5
	SAB	15	9	22	16	55	15
	LIT	0	0	4	5	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes
	>= 4m	0	1	15	3	2	1
	[2-4[	20	3	30	4	3	1
	[1-2[	40	4	30	4	40	4
	[05-1[	40	4	20	3	45	4
	[0.25-0.5[	0	1	5	2	10	3
	<0.25	0	1	0	1	0	0
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	0	1	35	4	20	3
	[0.25-0.5[	60	5	20	3	10	3
	<0.25	40	4	45	4	70	5
Ligneux dominants		Gs et CN		Gs et CN et CM		Guiera senegalensis et Combretum micranthum	
Herbacées dominantes		diversifiées : cs, iv, ...		diversifiées : iv, ii, spc, fib, ce		Zornia glochidiata	
Couleur		SAB : 7.5YR6/8 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4		SAB : 7.5YR6/6 CR : 7.5 YR4/2		SAB : 7.5YR7/6 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4	
Observations						présence de termitières et ravines	

Tableau 18 : Typologie des unités paysagères (suite)

N° de classes		4		5		6	
Géomorphologie		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes	
Occupation du sol		Champs mil ou mil/niébé		Polyculture		Jachères récentes parfois semées	
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart
	SN	67	17	60	13	20	9
	HG	29	16	36	13	75	8
	LIG	4	3	4	3	5	2
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	6	7	5	6	15	5
	CAL	0	0	0	0	0	0
	SAB	93	8	95	6	84	6
	LIT	1	2	0	0	1	3
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes
	>= 4m	20	3	18	3	30	4
	[2-4[	0	0	3	1	5	2
	[1-2[	10	3	9	2	20	3
	[05-1[	35	4	35	4	30	4
	[0.25-0.5[	35	4	35	4	5	2
	<0.25	0	0	0	0	0	0
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	60	5	60	5	65	5
	[0.25-0.5[	30	4	15	3	25	4
	<0.25	10	3	25	4	10	3
Ligneux dominants		Gs et CG + PR,PA,AA		Gs et PR et CG		Gs et CG + PR, PA	
Herbacées dominantes		Mil, Niébé + ms, iv, ii		Mil, Niébé, oseille		diversifiée : wi, al, cb, ms	
Couleur		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 7.5YR6/6	
Observations		nombreuses pistes nombreuses haies				non sarclé non défriché	

Tableau 19 : Typologie des unités paysagères (suite)

N° de classes		7		8		9	
Géomorphologie		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)	
Occupation du sol		Jachères récentes		Jachères anciennes		Jachères anciennes	
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart
	SN	29	10	21	6	24	9
	HG	65	9	54	9	57	7
	LIG	6	3	25	4	19	4
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	38	8	25	9	50	7
	CAL	0	0	0	0	0	0
	SAB	62	8	74	9	50	7
	LIT	0	0	1	3	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes
	>= 4m	18	3	10	3	2	1
	[2-4[	2	1	25	4	25	4
	[1-2[	35	4	35	4	50	5
	[05-1[	35	4	20	3	20	3
	[0.25-0.5[	10	3	10	3	2	1
	<0.25	0	0	0	0	1	1
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	50	5	55	5	50	5
	[0.25-0.5[	20	3	30	4	30	4
	<0.25	30	4	15	3	20	3
Ligneux dominants		Gs et CM et/ou CG		Guiera senegalensis et Combretum glutinosum		Guiera senegalensis et Combretum micranthum	
Herbacées dominantes		très diversifiée : ms, et, ce, zg, cm, al, wi		très diversifiée : ms, al, et, dg, cm		Ctenium elegans + iv, cm, spe,...	
Couleur		SAB: 10YR7/6, 7.5YR7/4 CR: 10YR5/3, 7.5YR6/4		SAB: 10YR7/6, 7.5YR6/8 CR: 10YR4/3, 7.5YR5/4		SAB: 10YR7/4, 7.5YR7/6 CR: 10YR6/3, 7.5YR6/4	
Observations				sentiers et pistes		termitières et fourmilières	

Tableau 20 : Typologie des unités paysagères (fin)

N° de classes	10		
Géomorphologie	Versant et dunes		
Occupation du sol	Jachères anciennes		
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart
	SN	23	8
	HG	64	7
	LIG	13	3
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	18	7
	CAL	0	0
	SAB	82	7
	LIT	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes
	>= 4m	11	3
	[2-4[	6	2
	[1-2[	36	4
	[05-1[	31	4
	[0.25-0.5[	16	3
	<0.25	0	0
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	55	5
	[0.25-0.5[	25	4
	<0.25	20	3
Ligneux dominants	Gs et CG + PR		
Herbacées dominantes	Cenchrus biflorus + al, ms, wi,...		
Couleur	SAB: 10YR7/6, 7.5YR6/6 CR: 7.5YR4/4		
Observations			

5. SPATIALISATION : REALISATION D'UNE CARTE DES ETATS DE SURFACE

Après avoir fait, dans un premier temps, une typologie des unités cartographiques à partir des relevés de terrain, notre objectif est, dans un deuxième temps, d'extrapoler et de spatialiser les données à l'ensemble de notre aire d'étude, le site central. Pour ce faire, nous utilisons l'image satellitaire haute résolution (image SPOT) et principalement le logiciel de traitement d'images "PLANETES".

5.1. LES SATELLITES SPOT ET LES DONNEES HRV DE SPOT

5.1.1. Les satellites SPOT (Joly, 1988)

Les satellites SPOT sont constitués de trois parties principales :

- une plate-forme multidimension regroupant le système de transmission, les antennes, les dispositifs de télémétrie, télécommande et stabilisation 3 axes ainsi qu'un propulseur à hydrazine,
- une charge utile représentée par 2 capteurs HRV (Haute Résolution Visible),
- un panneau solaire (1800 W).

Les deux instruments HRV présentent les particularités suivantes :

- acquisition d'une ligne transversale à la trace du satellite par barrette de 6000 détecteurs, au lieu du balayage par miroir couramment en usage,
- possibilité de fonctionnement en mode panchromatique ou en mode multibande,
- possibilité de visée au nadir ou de visée oblique à l'aide d'un miroir orientable par télécommande (valeur de l'angle choisie par l'utilisateur).

L'instrument HRV comporte un télescope au foyer duquel sont disposées les barrettes de détecteurs. Chaque cellule de détection est une photodiode occupant un carré de 13 microns de côté, si bien qu'une barrette de 1728 détecteurs présente une longueur de 2.5 cm.

L'observation d'une bande de surface terrestre, de 60 km * 10 m s'effectue en associant 4 barrettes (afin de limiter les effets de bord, 1500 de 1728 détecteurs de chaque barrette sont utilisés). 6000 signaux sont ainsi détectés et acquis en 1.5 milliseconde, correspondant aux 6000 taches élémentaires de 10 * 10 m de la bande considérée.

Au total, 16 barrettes sont mises en oeuvre : 1 ligne de 4 barrettes pour le mode panchromatique et 3 lignes de 4 barrettes pour le mode multibande. En mode panchromatique, 1 détecteur correspond à 1 pixel, alors qu'en mode multibande, les détecteurs sont groupés 2 par 2 (dimension de la tache élémentaire : 20 m * 20 m).

Dans notre cas d'étude, nous utilisons des données-images qui ont été acquises en mode multibande avec un angle de prise de vue de 14.56° . Ce type d'image SPOT avec un pixel de 20 m sur 20 m est le mieux adapté pour une cartographie au 1:50000.

5.1.2. Les données HRV de SPOT (Joly, 1988)

Le satellite français SPOT-1, mis en orbite en 1986, réalise une mission de télédétection des paysages avec un système de capteurs HRV (Haute Résolution Visible) pouvant opérer dans trois bandes spectrales notées XS1, XS2, XS3 avec une résolution de 20 m au sol.

La société SPOT-Image diffuse un catalogue d'informations sur toutes les scènes SPOT archivées dans le monde. La scène que nous utilisons pour la réalisation de la carte des états de surface sur notre aire d'étude est une image SPOT XS HRV1 du 05/10/92. Ses coordonnées en haut à gauche sont $2^\circ 26'44''$ E et $13^\circ 49'58''$ N. Une seule image suffit pour couvrir l'ensemble de notre aire d'étude.

Les données SPOT sont fournies sous des formes plus ou moins élaborées. Celle que nous utilisons est une image de niveau 1B, c'est à dire avec des corrections radiométriques (effet de filé) et des corrections géométriques ligne à ligne du système (rotation de la terre, effet panoramique, angle de visée). La précision de localisation absolue est de 1500 m en visée verticale. C'est le niveau de base de la photo-interprétation.

Une scène correspond à une étendue de 60 km, mesurée dans la direction de la trace du satellite, sur une largeur de 60 à 81.5 km selon que la visée est verticale ou plus ou moins oblique. Le choix de l'angle de visée influe sur la résolution au sol, pouvant le faire varier de 20 m à 27.2 en mode multibande.

Les dimensions en lignes et en colonnes des images SPOT sont déterminées par le traitement qui est appliqué aux données. Dans le cas du niveau 1B de traitement, en mode multibande, le nombre de lignes est 3000 et le nombre de colonnes varie de 3000 à 4250. Toujours pour ce même niveau de traitement, la correction des distorsions géométriques introduit des octets de cadrage de part et d'autre de chaque ligne.

Les données recueillies par les détecteurs du système HRV sont numérisées avec la dynamique 1 à 254 et codées sur un octet. En effet, pour une bande spectrale, l'image fournit par un satellite se présente sous la forme d'un tableau rectangulaire de valeurs numériques. Un "cellule" de ce tableau est généralement appelé pixel. On se repère à l'intérieur de ces images en utilisant le système de numéro de ligne, numéro de colonne. Du fait de la sensibilité des détecteurs, et du codage effectué pour la transmission des données, les valeurs numériques contenues dans l'image ne sont pas, comme on pourrait s'y attendre, en $\text{W.m}^{-2}.\text{st}^{-1}$ (unité de luminance). Les informations constituant l'image sont pour cette raison qualifiées de compte numérique de la luminance d'une bande spectrale donnée.

5.2. CORRECTIONS GEOMETRIQUES DES IMAGES

5.2.1. Objectifs et nécessité

Les corrections géométriques des images SPOT sont nécessaires avant toute utilisation de la télédétection puisque qu'elles permettent la superposition d'images et de cartes, ou d'images entre elles, une meilleure et plus facile localisation dans une image et, enfin, des mesures de surface (Girard, 1989).

Les principaux paramètres responsables de la géométrie d'une image sont les suivants : la rotation de la terre, l'angle de prise de vue, la rotondité de la terre, l'orbite réelle du satellite et les mouvements du satellite.

L'image SPOT de niveau 1B que nous utilisons est corrigée en fonction des trois premiers paramètres cités ci-dessus. L'orbite réelle du satellite et ses mouvements ne sont pas pris en compte.

En effet, d'une part, un satellite n'est jamais situé exactement sur son orbite nominale. Les orbites nominales des satellites d'observation de la terre sont généralement circulaires. En fait, les orbites réelles sont légèrement elliptiques, il en résulte que la taille de l'image au sol varie. Ce mouvement elliptique peut être aussi compliqué d'oscillations autour de cette trajectoire dessinant une spirale. (Girard, 1989). D'autre part, les mouvements du satellite se décomposent en mouvements de balancement autour d'un ou de plusieurs des trois axes du satellite. On les nomme : roulis, lacet et tangage.

Ainsi, étant donné la nécessité, pour une bonne cartographie, de pouvoir superposer des images et des cartes, d'avoir une bonne localisation dans une image et de pouvoir faire des mesures de surface, les corrections géométriques de notre image du 05/10/93 en fonction des deux derniers paramètres font partie intégrante de notre traitement d'image. Elles nécessitent beaucoup de temps de calcul.

5.2.2. Corrections géométriques de l'image SPOT HRV1 du 05/10/92

La visualisation de notre image SPOT se fait grâce au programme VISUTOOL du logiciel PLANETES. Afin de réaliser la correction géométrique de cette image, des points d'amers sont repérés dans un premier temps. Pour ce faire, une dizaine de points précisément repérables sur l'image (croisements de route, point de rencontre d'une piste et d'un

plateau,...) sont choisis, puis leurs coordonnées GPS (Global Positioning System) sur le terrain relevées.

Dans un premier temps, les coordonnées de trois de ces points d'amers sont utilisées par le programme DEGRE1 pour faire un recalage linéaire, c'est à dire qu'une droite dans l'image de départ restera une droite dans l'image d'arrivée.

Soit L1, C1 les coordonnées d'un amer dans l'image de départ,

Soit L2, C2 les coordonnées du même point dans l'image d'arrivée,

Le programme calcule les coefficients A, B et C, U, V, et W.

$$L1 = A.L2 + B.C2 + C$$

$$C1 = U.L2 + V.C2 + W$$

Le programme résout deux systèmes de 3 équations à trois inconnues.

Grâce à ce programme, une translation/rotation est effectuée sur l'image autour des trois points d'amers.

Le calcul de l'image résultante se fait par différentes méthodes d'interpolation : plus proche voisin, bilinéaire, bicubique. Le modèle calcule, pour chaque pixel de l'image d'arrivée, les coordonnées correspondantes dans l'image de départ. Ces coordonnées ne sont jamais entières.

Nous avons choisi la méthode des plus proches voisins dans laquelle le pixel choisi est le plus proche du pixel calculé. Cette option ne crée donc pas de nouvelles valeurs, ce qui est obligatoire lorsque l'on veut faire des classifications à posteriori.

La correction de l'image est la meilleure à l'intérieur du triangle formé par ces trois points d'amers.

Les autres points d'amers servent à vérifier que la correction effectuée a vraiment apportée une amélioration.

Après cette correction géographique, nous devons connaître la taille réelle du pixel qui n'est jamais vraiment 20 * 20 m.

Pour ce faire, trois points d'amers, formant un triangle rectangle sont repérés sur l'image. Leurs coordonnées GPS au sol sont connues.

Connaissant la distance entre deux coordonnées GPS et le nombre de pixel entre ces deux même points sur l'image SPOT, la taille du pixel peut être déduite. Ne pouvant compter les pixels qu'en lignes ou en colonnes, il est indispensable que deux de ces points soient alignés sur un parallèle et deux sur un méridien selon la figure 3 suivante :

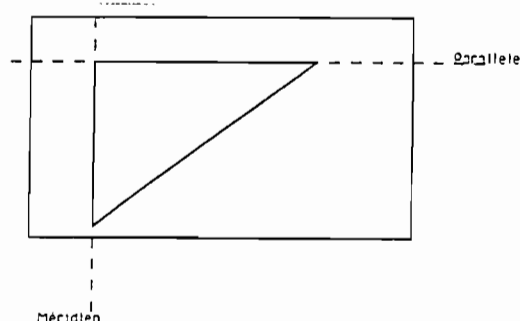


Figure 3 : Triangulation pour le calcul de la taille du pixel de l'image SPOT (05/10/92)

La taille réelle du pixel obtenue est 25.341 m en latitude et 24.896 en longitude.

5.3. CLASSIFICATION DIRIGEE DE L'IMAGE SPOT du 05/10/92

L'utilisation de la télédétection que nous faisons dans un premier temps a pour objectif celui d'extrapoler cartographiquement le résultat d'analyses spectrales identifiant divers objets qui sont caractérisés par divers comportements spectraux. Il s'agit donc d'extrapoler, sur de grandes surfaces, des ensembles hétérogènes radiométriquement. Cet objectif est celui de la cartographie des états de surface telle que nous l'avons définie. Dans ce cas, la télédétection n'est pas au centre de l'étude, elle n'est qu'un moyen essentiel pour arriver à nos fins.

5.3.1. Préparation de l'image à traiter

- Extraction d'image :

Les transects cartographiques ne concernent qu'une partie de l'image SPOT, celle qui correspond à peu près aux limites du site central.

En fait, l'un de ces transects se situe un peu plus bas au Sud et un autre un peu plus à droite à l'Est. Ceci nous oblige à agrandir les bornes du site central.

Ainsi, à partir de l'image corrigée, nous procédons à l'extraction du site central un peu agrandi. Les coordonnées du coin NO de l'extraction sont les mêmes que celles du site central : 13°40' et 2°36'77".

Le programme VISUTOOL permet le repérage (première ligne, dernière ligne, première colonne, dernière colonne) de la zone d'extraction sur une image. Ensuite le programme EXTRAC procède à l'extraction proprement dite.

- Création de la composition colorée :

Pour mieux se repérer, il est préférable de faire une composition colorée. Dans un premier temps, on peut noter les bornes des histogrammes des différents canaux dans le programme VISUTOOL.

VISUTOOL est en fait le programme de visualisation générale. Il permet de charger une image de 2048*2048 pixels en mémoire, de s'y déplacer, de s'y positionner en ligne et en colonne, mais aussi en latitude et en longitude, de changer les modes de visualisation. Il permet aussi l'affichage d'histogrammes ou de zooms, ainsi que la création de zones polygonales.

Dans un deuxième temps, le programme COLORTOOL permet d'affiner le choix des bornes des histogrammes des différents canaux. Une fois que les teintes sont satisfaisantes, on note les bornes et on crée le canal composition colorée.

C'est le programme COLOR qui s'en charge. Il demande les trois canaux Rouge, Vert et Bleu et les bornes MIN et MAX dans les trois canaux, puis crée le canal composition.

La composition colorée peut alors être lue par VISUTOOL, visualisée avec le mode (COMPOCOLOR RVB).

5.3.2. La classification dirigée

- Positionnement des transects.

Connaissant le point de départ et le point d'arrivée en coordonnées GPS de chaque transect, leur positionnement dans VISUTOOL est facile à faire en théorie. Seulement, sur le terrain, il est extrêmement difficile de suivre exactement une ligne droite entre deux points distants de plusieurs kilomètres. Ainsi, pour le repérage de chaque unité cartographique le long de chaque transect, nous avons fait une sortie papier zoomée de la zone correspondante. Ensuite, sur cette sortie papier, pas à pas, avec une observation parallèle sur photos aériennes, chaque transect est découpé en son nombre d'unités cartographiques différenciées sur le terrain. Une fois que tous les découpages des transects sont bien repérés, leurs limites sont reportées sur l'image SPOT dans le programme VISUTOOL.

Ce repérage précis des unités cartographiques le long des transects est une étape essentielle ; elle déterminera la qualité de la classification.

- Repérage des zones test

Autour de chaque subdivision cartographique des transects, une zone est tracée en choisissant la valeur dans le potentiomètre VAL et en utilisant les boutons (DEBUT DE ZONE) et (FIN DE ZONE). Cette valeur sera le numéro de classe à priori. En cliquant sur (FIN DE ZONE), il sauvegarde dans un fichier à part les paramètres de la zone en cours. Les délimitations de ces zones sont difficiles à tracer. En effet, étant donné que ces zones correspondent à des unités cartographiques repérées sur le terrain avec une organisation spécifique des différents états de surface qui les composent, elles sont représentées sur l'image SPOT par un ensemble de pixels de valeurs différentes et non par une seule valeur de pixel. Ces zones doivent pourtant être les plus homogènes possibles pour être ensuite classées.

A partir du fichier paramètre des zones, le programme ZONE crée un canal dans lequel se trouvent les zones qui ont été tracées dans VISUTOOL.

Le programme STATIS permet d'obtenir le listing des statistiques (moyenne, écart-type, minimum, maximum) par zone-test dans chacun des trois canaux. Les moyennes sont considérées comme étant les centres des classes, et les écart-types leur dispersion.

Les critères de délimitation définitive des zones test que nous avons appliqués sont un groupe de pixels ayant un écart-type < 3 dans les trois canaux, et un nombre de pixel au

minimum égal à 10. 74 zones test sur 145, répondant à ces critères de choix, ont ainsi été retenues. Toutes les zones sur plateaux ont été éliminées car mal positionnées et trop petites. L'ensemble des plateaux a donc été masqué. La classification sera effectuée sur toute l'image, plateaux exclus.

- Classification

Le classement de l'image est réalisé par le programme SEBEST d'après les statistiques des zones test. La fiche programme de SEBEST-Image est en annexe 8. Cette classification est une classification supervisée puisque les classes saisies dans le programme SEBEST sont préalablement définies par l'utilisateur.

La classification se fait par la distance de Sebestyen elliptique.

Seulement, ce programme accepte un quota maximum de 32 classes.

Deux classes sont formées d'office, d'une part par les plateaux à qui on donnera une valeur aléatoire (1) et, d'autre part par les nuages (valeur 2). L'image Spot n'ayant pas été corrigée atmosphériquement, un nuage apparaît en effet à l'extrémité NE de l'image extraite.

Il nous faut donc réduire les 74 zones test en 30 nouvelles classes.

Pour ce faire, nous utilisons la Classification Ascendante Hiérarchique (CAHVOR) et parallèlement l'Analyse en Composantes Principales (ANCOMP) du logiciel de traitements statistiques ADDAD. Nous utilisons ces programmes statistiques exactement de la même manière que pour la réalisation de la typologie. Nous n'y reviendrons donc pas. Cependant, dans ce cas particulier, le tableau d'entrée est composée de nombres réels, croisant 74 lignes et 9 colonnes (XS1, XS2, XS3, Minimum1, 2 et 3, Maximum1, 2 et 3). Les minimum et maximum ont été préférés aux écart-types car plus pertinents pour la représentation de la dispersion des zones tests. Le tableau d'entrée est en annexe 5. Les 32 classes obtenues sont les suivantes (tableau 21) :

Tableau 21 : Distribution des individus dans les 32 classes utilisées pour la classification de l'image satellite SPOT

N° de classe	Nb d'individus	N° d'individus
1	plateaux	non classés
2	nuages	non classés
3	3	15, 36, 41
4	2	16, 108
5	3	20, 39, 52
6	2	24, 40
7	2	26, 29
8	2	31, 37
9	2	32, 94
10	4	33, 99, 101, 115
11	2	23, 34
12	4	22, 38, 42, 45
13	2	21, 48
14	4	17, 35, 49, 56
15	2	19, 54
16	2	30, 55
17	3	27, 100, 119
18	3	43, 96, 102
19	2	53, 105
20	3	14, 98, 106
21	3	107, 130, 131
22	2	97, 112
23	1	114
24	1	116
25	4	12, 13, 111, 117
26	4	11, 95, 120, 121
27	2	28, 122
28	3	109, 126, 128
29	2	124, 132
30	2	127, 133
31	1	134
32	2	110, 135

La difficulté est ensuite de moyenner le contenu numérique des individus qui composent chacune des classes afin de les identifier. Les écart-types doivent alors aussi être moyennés puisqu'ils sont demandés dans le programme SEBEST.

Ainsi, les moyennes des valeurs XS1, XS2 et XS3 sont pondérées en fonction du nombre de pixel par zones test.

Soit n_i , le nombre de pixels,

Soit x_i , les valeurs dans le canal XS1 correspondant,

$Moy(XS1) = \text{Som}(x_i * n_i) / \text{Som}(n_i)$

Les moyennes des écart-types sont également pondérées comme suit :

Soit n_i , le nombre de pixels,

Soit e_i , la valeur de écart-type dans le canal XS1 par exemple,

$Moy(E1) = \text{Racine}(\text{Som}(e_i^2 * n_i) / \text{Som}(n_i))$

La caractérisation statistique finale de ces 30 classes (plateaux et nuages exclus) se trouve en annexe 10.

Il aurait été plus rigoureux de regrouper les zones test de chaque classe dans VISUTOOL pour en faire une seule et même grande zone sur laquelle le programme STATIS aurait calculé les nouvelles caractéristiques statistiques. Ceci n'a pas pu être fait pour des raisons de défaillance du matériel.

Ainsi, avec ces 32 classes, la classification de l'image est effectuée par le programme SEBEST.

Pour choisir les couleurs données à chaque classe, en vue d'une sortie sur vidéo-traceur, imprimante ou traceur, le programme PALETEDIT est utilisé. Ce dernier visualise la classification obtenue et permet de choisir chaque couleur parmi une palette de 16 millions de couleurs.

La dernière étape consiste en un regroupement, essentiellement visuel, de ces 32 classes.

Selon une approche cartographique, une dizaine de classes sont considérées comme différenciables étant donné le degré de précision du travail à l'échelle du 1/50000.

Les 30 classes (plateaux et nuages exclus) sont alors regroupées visuellement dans le programme PALETEDIT selon des critères de proximité spatiale, selon leurs caractéristiques statistiques et leur description au sol correspondante (voir annexe 11). Une seule couleur représente l'ensemble des classes regroupées.

Pour chacune des 30 classes, les éléments de description au sol ont été moyennés selon la méthode déjà décrite dans le chapitre précédent pour la réalisation de la typologie.

En opérant ainsi pas à pas, selon des critères logiques de regroupement (comparaison des : positionnements topographiques, occupations du sol, recouvrements des états de surface, valeurs moyennes dans les canaux XS1, XS2 et XS3, ...), 11 classes (hors plateaux) ont été définitivement retenues (tableau 22).

Tableau 22 : Distribution des individus dans les 11 classes finales de la spatiocarte des états de surface au 1/50000

N° de classe	Nb d'individus	N° d'individus
non classé	plateaux	non classés
non classé	nuages	non classés
1	1	134
3	7	26, 27, 28, 29, 100, 119, 122
4	7	31, 32, 37, 43, 94, 96, 102
5	6	22, 23, 34, 38, 42, 45
2	1	114
11	2	19, 54
10	17	12, 13, 14, 16, 17, 24, 35, 40, 49, 56, 97, 98, 106, 108, 111, 112, 117
9		11, 95, 110, 120, 121, 135
8	11	30, 33, 53, 55, 99, 101, 105, 115, 116, 127, 133
7	8	20, 39, 52, 109, 124, 126, 128, 132
6	8	15, 21, 36, 41, 48, 107, 130, 131

Les numéros de classes notés de 1 à 11 correspondent aux unités paysagères de la légende de la spatiocarte au 1/50000 (tableau 23).

La classification obtenue étant trop pointilliste, un lissage est fait grâce au programme FENET3, uniquement avec l'option "majoritaire".

La carte obtenue n'est pas à proprement parlé une carte des états de surface avec des unités paysagères bien délimitées, mais une spatiocarte avec des pixels classés.

5.4. PRESENTATION DE LA SPATIOCARTE DES ETATS DE SURFACE ET DE SA LEGENDE

La légende (tableau 24) des 11 classes retenues comprend les descripteurs suivants : l'occupation du sol, le % de sol nu, les recouvrements herbacées et ligneux, les recouvrements des divers microhorizons affleurants (argileux, sableux, litière), les espèces dominantes herbacées et ligneuses, la géomorphologie générale et la surface correspondante. Sont en caractères gras les éléments les plus caractéristiques de chacune des classes.

	OCCUPATION DU SOL	SOL NU (%)	FORMATION VEGETALE	MICROHORIZONS AFFLEURANTS	ESPECES DOMINANTES	GÉOMORPHOLOGIE	SURFACE		
			II: herbacée; L: ligneux	A: argileux (croûtes d'érosion); S: sableux; LIT: liège			(ha)		
1	champs de mil	<25	herbacée dense	II6 L2	sableuse A3 S5 LIT2	HERBACEES mil/ Mitiocarpus scaber, Ipomoea involucrata, Clerium elegans mil, riclé/ fimbriatilis	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Acacia alida, Prosopis africana Guiera senegalensis/ Acacia alida, Delonix microcarpum	système alluvial bas forêts, terrasses sur 2 et 3ème niveaux érosifs système alluvial bas forêts	12012 764
2	champs mil/riclé	>50	herbacée claire	II4 L1	encroûtée sableuse A2 S7	mil, riclé, orolle/ fimbriatilis	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Acacia alida, Prosopis africana, Annona senegalensis Guiera senegalensis/ Acacia alida, Delonix microcarpum	dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens	1297 1290
3	champs de cultures associées ou polyculture	>50	herbacée claire	II4 L1	sableuse A2 S7	orolle, fimbriatilis	Acacia alida, Delonix microcarpum	dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens	1297 1290
4	champs de mil ou mil/riclé dominants	>50	herbacée claire	II4 L1	sableuse A2 S7	Mitiocarpus scaber, Cenchrus biflorus/ mil, Andropogon gayanus, Ipomoea involucrata, Ipomoea vagans	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Acacia alida	dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens dépôts sableux érosifs : mi versant, bas du versant et modèles d'anciens	1297 1290
5	champs de mil peu ou pas préparés (déchets, sacage)	>50	herbacée claire	II4 L2	sableuse A1 S7	Mitiocarpus scaber, mil, Aristida longiflora, Ipomoea involucrata, Cenchrus biflorus, Jacquemontia tamnifolia	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Combretum glutinosum, Combretum micranthum	versants peu pentus et dunes	1653
6	jachères récentes pouvant être semées (nd)	25-50	herbacée assez dense	II5 L1	encroûtée A4 S5	Mitiocarpus scaber, Aristida longiflora, Cenchrus biflorus, Waltheria indica, Zornia glauca, Cassia minosoides, Eragrostis tremula	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Prosopis africana	dépôts sableux érosifs sur terrasses alluviales ou versants	5252
7	jachères récentes ou peu anciennes	<25	ligneuse claire herbacée	II5 L3-1	sableuse encroûtée A3 S6	Ctenium elegans/ Aristida longiflora, Cenchrus biflorus, Eragrostis tremula, Waltheria indica	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Acacia alida, Prosopis africana, Annona senegalensis	dépôts sableux érosifs sur terrasses alluviales ou versants	3240
8	jachères récentes ou peu anciennes	25-50	ligneuse claire herbacée	II5 L3-1	sableuse encroûtée A3 S6	diversifiées: Waltheria indica, Cenchrus biflorus, Mitiocarpus scaber, Eragrostis tremula, Ipomoea involucrata, Ipomoea vagans	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Acacia alida, Prosopis africana	dépôts sableux érosifs sur terrasses alluviales ou versants	4520
9	jachères récentes ou peu anciennes à fort couvert herbacé	<25	herbacée dense	II6 L2	sableuse encroûtée A3 S6	diversifiées: Aristida longiflora, Clerium elegans, Mitiocarpus scaber, Cenchrus biflorus, Waltheria indica, Alysicarpus ovalifolius, Spermacoce	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Combretum nigricans, Combretum micranthum, Prosopis africana	dépôts sableux érosifs : versants peu pentus et dunes	17990
10	jachères anciennes	<25	ligneuse assez dense herbacée	II5 L3-2	sableuse encroûtée A3 S6 LIT1	très diversifiées: Aristida longiflora, Eragrostis tremula, Digitaria gayana, Clerium elegans, Cassia minosoides, Ipomoea vagans, Waltheria indica, Mitiocarpus scaber	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Combretum nigricans, Combretum micranthum	dépôts sableux érosifs : versants peu pentus et dunes	1292

NON CLASSES

plateaux érosifs (bandes de végétation en rouge)		premier niveau érosif	11976
marais			502

Tableau 23 : Légende de la spatio-carte des états de surface de Banizoumbou au 1/50000
(05/10/92)

Ainsi, à titre d'exemple, la classe N°1 est surtout caractérisée par son occupation du sol (champs de mil), par une strate herbacée dense, par un microhorizon affleurant essentiellement sableux et par sa position basse dans la topographie (système alluvial).

Les taux de recouvrement sont codifiés selon les classes de recouvrement suivantes (tableau 24) :

Tableau 24 : Classes des taux de recouvrement pour la spatiocarte des états de surface au 1/50000

Classes de recouvrement (%)	[0-5[	[5-10[	[10-15[	[15-25[	[25-50[	[50-75[	[75-90[	[90-100[
Codes	1	2	3-1	3-2	4	5	6	7

H6 L2 se lit donc de la façon suivante : 75 à 90% d'herbacées et 5 à 10% de ligneux. Une seule codification pour les classes de taux de recouvrement devait être choisie afin d'obtenir une légende homogène et facile à lire. Les classes de recouvrement choisies pour la typologie (tableaux 10 et 11) ne pouvaient donc pas convenir. Après observation de la dispersion des taux de recouvrement pour l'ensemble des états de surface décrits, les 8 classes présentées ci-dessus ont été retenues comme étant les plus représentatives quelque soit l'état de surface.

Etant donné l'extrapolation des données de terrain qui a été faite sur l'ensemble de la carte, nous ne pouvons réfléchir qu'en classes de recouvrement et non en taux de recouvrement réels et précis.

La codification pour les microhorizons affleurants est la même.

L'observation de cette légende montre, d'une part, que, en Octobre 1992, les recouvrements herbacées ne sont jamais inférieurs à]25-50%], les recouvrements ligneux jamais supérieurs à]25-50%], les microhorizons affleurants sableux jamais inférieurs à]25-50%] et les microhorizons affleurants argileux jamais supérieurs à]25-50%]. La classe de recouvrement N°4 apparaît donc comme une classe charnière dans la caractérisation des états de surface, tout au moins à cette époque de l'année donnée. Cette remarque est une première caractéristique du paysage sur notre aire d'étude.

D'autre part, la surface globale de cette spatiocarte des états de surface est de 62586 ha (sans compter le nuage).

Cinq types de champs couvrent 27% de cette surface totale et six types de jachères couvrent 54%. Les 19% restant sont les plateaux.

6. COMPARAISON DE LA TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES RELEVÉES AU SOL ET DE LA SPATIOCARTE DES ETATS DE SURFACE AU 1/50000

L'idéal aurait été de retrouver les même classes dans la typologie des unités cartographiques relevées sur le terrain et dans la spatiocarte des états de surface. Mais il était très peu probable d'arriver à ce résultat. Dans ce cas, le travail cartographique serait terminé et entièrement satisfaisant.

D'une part, la première remarque à faire est que nous ne nous situons pas à la même échelle de précision. En effet, pour la typologie, nous avons des taux de recouvrement précis avec des écart- types, et nous détaillons la stratification verticale des ligneux et des herbacées, ce qui n'est pas le cas pour la spatiocarte des états de surface. Le fait de spatialiser les données nous fait perdre de l'information.

D'autre part, pour la typologie, nous avons distingué 10 classes dont deux sur les plateaux alors que, pour la spatiocarte des états de surface, nous avons distingué 11 classes uniquement sur la zone hors plateaux.

Nous avons distingué en fait 6 types de jachères pour la typologie contre 6 également pour la spatiocarte et 2 types de champs pour la typologie contre 5 pour la spatiocarte.

La classe 7 de la typologie peut être rapprochée avec la classe 6 en partant du haut de la spatiocarte, les classes 8 et 9 de la typologie avec les classes 8 et 10 de la spatiocarte, les classes 6 et 10 avec 1, 9 et 7, la classe 4 avec les classes 2, 4 et 5, et enfin la classe 5 avec la classe 3.

Ainsi, une des classes de la typologie peut regrouper plusieurs classes de la spatiocarte et vice versa.

Ceci signifie que les discriminations des unités paysagères ne sont pas les même quand les données sont spatialisées. Dans ce dernier cas, le risque est d'ignorer des types d'unités paysagères pourtant très spécifiques du paysage mais peu représentées en superficie. Par exemple, la classe N°3 de la typologie n'apparaît absolument pas sur la spatiocarte alors qu'elle est très repérable sur photos aériennes ou sur le terrain. En fait, ces jachères anciennes ou dégradées juste en dessous des plateaux occupent peu de place en superficie. Dans la spatiocarte, elles semblent avoir été absorbées dans une ou plusieurs autres classes. Le fait que nous ayons une trop vague définition des grandes unités géo-morphopédologiques accentue le problème.

La spatiocarte a permis par contre une bien meilleure discrimination des différents types de champs rencontrés.

Dans ce cas, la spatiocarte apporte une amélioration certaine à la typologie. La spatialisation des données permet de se rendre compte que la distinction entre seulement deux types de champs n'est pas pertinente.

La comparaison de ces deux différents traitements des données cartographiques relevées au sol permet de relativiser la fiabilité des résultats obtenus. La spatiocarte des états de surface présentée ci-dessus n'est pas un produit fini. Elle est un produit intermédiaire qui permet une première description de la mosaïque du paysage étudié. A l'avenir, elle devra être affinée; les unités décrites devront être considérées définitivement comme les plus remarquables dans le paysage.

7. CONCLUSION : LA SPATIOCARTE DES ETATS DE SURFACE DU 05/10/92 : UN DOCUMENT INTERMEDIAIRE DANS UNE DEMARCHE CARTOGRAPHIQUE GLOBALE

La spatiocarte des états de surface au 1/50000 du 05/10/92 présentée dans les chapitres précédents n'est pas une carte achevée pour les raisons suivantes :

- Comme nous l'avons vu en la comparant avec la typologie des unités cartographiques effectuée par ailleurs, les unités paysagères qu'elle définit ne sont pas forcément les plus pertinentes. En effet, certaines spécificités du paysage, comme les vieilles jachères ou les jachères dégradées situées en haut de versant (fort pourcentage de sol nu), n'apparaissent pas.
- Elle n'a pas été validée a posteriori avec quelques points de vérité terrain hors transects, ni comparée méticuleusement avec la couverture aérienne correspondante. Ce travail devra être fait à l'avenir de façon prioritaire.
- Un complément d'échantillonnage sur le terrain est nécessaire. En effet, certaines zones ont peu (N-E de la carte) ou pas (plateaux cuirassés) étaient décrites au sol.
- Les grandes unités géo-morphopédologiques sont très mal définies et il est nécessaire de lever cette ambiguïté : la faiblesse de la situation géo-morphopédologique dans la détermination des classes des états de surface, telle qu'elle apparaît sur la spatiocarte, est-elle due à l'insatisfaisante définition des unités géo-morphopédologiques ou effectivement à son caractère secondaire dans la répartition spatiale des taux de recouvrement des divers états de surface?
- Cette spatiocarte devra déboucher sur une carte des états de surface réelle, c'est à dire avec de grands ensembles cartographiques identifiés et délimités. Pour ce faire, nous aurons à résoudre le problème méthodologique de "moyenne".

Cette carte finale des états de surface au 1/50000 sur notre aire d'étude servira de document de base pour spatialiser et extrapoler les phénomènes socio-écologiques étudiés parallèlement (agriculture, élevage, prélèvement de bois, etc...). A titre d'exemple, les calculs de biomasse effectués de façon ponctuelle sur le terrain seront localisés précisément sur la carte (repérage au GPS) et spatialisés selon les unités paysagères différenciées. Un même travail de spatialisation et d'extrapolation sera effectué en ce qui concerne les prélèvements sur les ressources disponibles. Ainsi, à chaque unité paysagère délimitée dans l'espace, nous pourrons faire correspondre une biomasse et une quantité de prélèvement.

Dans tous les cas, à l'heure actuelle, la spatiocarte réalisée n'est pas un document achevé à elle-seule et, de plus, elle s'insère dans une démarche cartographique globale. En effet, il ne faudra pas s'arrêter à cette spatiocarte, mais continuer avec les travaux suivants :

- Une analyse multidade : comparaison entre plusieurs images prises à différentes époques de l'année et d'une année sur l'autre afin d'évaluer l'évolution des ressources du paysage. Nous possédons des images SPOT de 1988, 1990, 1991, 1992 (Février, Juin, Août, Septembre et Octobre) et 1993.
- Une validation de la carte sur d'autres espaces Sud-sahélo-nigérien. Il serait intéressant, dans le cadre d'une coopération "recherche -développement", de faire cette validation sur des espaces correspondant à des zones d'études de projets de développement. Le PGTF (Projet de Gestion de Terroir à Filingue) est déjà demandeur.
- Une tentative de mise en relation, après la correction atmosphérique des images, entre un ou plusieurs éléments combinés du paysage et une signature spectrale type.

Finalement, le travail qui a été fait à l'heure actuelle pour la caractérisation de l'espace et des ressources sur notre aire d'étude apparaît incomplet mais, il permet toutefois une première appréhension du milieu (unités paysagères types, répartition dans l'espace, superficie). L'usage immédiat de cette carte dans la poursuite de nos travaux en thèse est :

- La qualification et quantification des ressources sur le "site central". Des mesures de biomasses seront replacées sur la carte.
- La superposition des cartes thématiques "prélèvements" multi-échelles.
- L'analyse spatiale des structures paysagères, fonctions des prélèvements et des populations.

L'élaboration d'un SIG sera donc une préoccupation majeure.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADDAD : Logiciel d'analyses de données. Version 1989 micro.

AMOROS : in J.M d'Herbes, 1993.

ALLEN.T.F.H. & STARR.T.B. (1982) : Hierarchy. Perspectives for ecological complexity. The Univ. of Chicago Press. Chicago. 310 p.

AUGER.P. & al (1992) : Echelles et hiérarchie en écologie; Ministères des affaires étrangères et de l'environnement (contribution au colloque UNESCO-environnement, Rio de Janeiro, 1992) : édition anglaise Parthenon Publishing, U.K. 1992.

BA.M. (1991) : Evolution de l'emprise des cultures annuelles (essentiellement le mil) sur l'espace sylvo-pastoral depuis quelques décennies; conséquences sur la dynamique actuelle des jachères et friches post-culturelles. Mémoire DESS-Université paris 7. 30 p.

BALDY.C. (1991) : Agrométéorologie forestière des régions chaudes. Applications à l'agroforesterie. E.N.G.R.E.F., 243 p.

BAUDRY.J. & al (1986) : Ordre topoécologique dans un espace rural, les niches paysagiques. C.R. Acad.Sc. Paris, t,302, Série 3, 20 : 691-696.

BAUMER.M. (1987) : Le rôle possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement. ICRAF.

BERNUS.E. (1974) : les Illabakans (Niger) : une tribu touarègue sahélienne et son aire de nomadisation. Atlas des structures agraires au sud du Sahara 10. Paris : ORSTOM-Mouton.

BERNUS.E. (1977) : Les éléments ace à la sécheresse en Afrique sahélienne : exemples nigériens. In drought in Africa, edited by D. DOLGY, R.J. Harrison church, F.BEZZAZ. African environment special report 6. International african institute; London. pp 140.

BERNUS.E. (1979) : Exploitation de l'espace et désertification en zone sahélienne. Travaux de l'Institut géographique de Reims n° 30-40, n° spécial sur la désertification. pp 49-54.

BERTRAND.G. (1970) : Ecologie de l'espace géographique. Recherches pour une science du paysage. Société de biogéographie. Comptes rendus, séance du 19 décembre 1969. pp 195-205.

BLANDIN.P & LAMOTTE.M. (1985) : Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire. éd Masson. 175 p.

BUREL.F. & al (1992) : Approche spatiale des phénomènes écologiques : échelles et hiérarchie. Bull. Ecol, t.23 (1-2) 1992 : pp 93-101.

CASENAVE.A. & VALENTIN.C. (1989) : Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. Eds de l'ORSTOM. 229 p.

COURAULT.D., d'HERBES.J.M. & VALENTIN.C. (1990) : Le bassin versant de Sama Dey. Premières observations pédologiques et phytoécologiques. Programme HAPEX-Sahel. ORSTOM. 31 p.

DELABRE. E. (1993) : Une typologie structurale des jachères à Guiera senegalensis du Sud-Ouest nigérien. Mémoire de fins d'études. E.N.G.R.E.F., 56 p.

DELWAULLE.J.C. & ROEDERER (1973) : Le bois de feu de Niamey, Bois et forêts des tropiques, n° 152, Nov-Déc. pp 55-60.

D'HERBES.J.M. (1988) : Analyse agro-écologique des systèmes de production pour le développement rural intégré des zones arides. Chili : 4^{ème} Région. Recherche et développement dans les communautés agricoles. Coopération MAB : France-Chili. ARCHILI. 255 p.

D'HERBES.J.M. (1993) : Annexe 1 : Ecologie des paysages sahéliens. Le paysage : hétérogénéité spatiale et changement d'échelle. non publié.

EPSAT (1991) : Vers une estimation des pluies par satellite au Niger. Campagne 1991. ORSTOM. 63p.

FLORET.C. (1990) : Jachères en Afrique de l'Ouest. ORSTOM. 28 p.

FORMAN.T.T.R & GODRON.M. (1981) : Articles patches and structural components for a landscape ecology. Biological Science, 31 : 733-740.

FRONTIER.S. (1983) : Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson ed., Paris. 494 p.

GALLAIS.J. (1967) : Le delta intérieur du Niger. t1. Mémoire IFAN 79, Dakar.

GAVAUD.M. & BOULET.R. (1967) : Carte pédologique de reconnaissance du Niger. ORSTOM.

GIRARD.M.C. & GIRARD.C.M. (1989) : Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales. MASSON. 260 p.

GODARD.O. (1989) : L'environnement, un problème de sciences sociales. Le courrier du CNRS. Recherches sur l'environnement. N° 72. Mai 1989.

GONDARD.P. (1988) : Des cartes, discours pour une méthode. Cartographie de l'utilisation actuelle des sols et des paysages végétaux dans les Andes équatoriennes. Collection "Etudes et Thèses" de l'ORSTOM. 156 p.

GUERIN.H. (1986) : Entrée à l'étude du milieu. Centre d'expérimentation pédagogique de Florac.in Lectures du paysage. Collection INRAP.ed FOUCHER. pp 141-157.

HAPEX-SAHÉL : Plan d'expérience (1992)

JOLY.G. (1988) : Les données-images. Télédétection satellitaire 2. éd Paradigme. 137 p.

LECLERC.B. & LECRIVAIN.E. (1979) : Etude du comportement d'ovins domestiques en élevage extensif sur le causse du Larzac. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Rennes. 343 p.

LECRIVAIN.E. & MEURET.M. (1984) : Protocole de suivi du comportement alimentaire et spatial d'animaux domestiques au pâturage. Unité d'écodéveloppement, INRA-Avignon. 8 p.

LEFEUVRE.J.C. & BARNAUD.G. (1988) : Ecologie du paysage : mythe ou réalité? Bull Ecol. 19,4,493-522.

LE HOUEROU.H.N. (1968) : La désertification du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. Colloque d'Hammamet. Ann. Alg. de géographie. 3 (6) : pp 2-27.

LE HOUEROU (1993) : Changements climatiques et désertisation. sciences et changements planétaires. Juin 1993, N°2, Vol 4. pp 95.

LONG.G. (1985) : Phyto-écologie et aménagement d'un territoire. in M. Lamotte, Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire. éd Masson. pp 57-94.

O'NEILL.R.V. & al (1986) : A hierarchical concept of ecosystems. Princetown Univ. Press, Princetown, NJ.

O'NEILL.R.V (1989) : Perspectives in hierarchy and scale. In: Roughgarden.J., May.R.M. and Levin.S.A. (eds), Perspectives in ecological theory. Princetown Univ.Press, Princetown, NJ, pp 140-156.

PHILIPPEAU.G. (1986) : Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? STAT-ITCF. 63 p.

MELTZER.M.I. & HASTINGS.H.M. (1992) : The use of fractals to asses the ecological impact of increased cattle population : case study from the Runde Communal Land, Zimbabwe. Journal of applied ecology (1992), 29, pp 635-646.

MICHEL ETIENNE.G. & CARLOS PRADO.C (1982) : Descripcion de la vegetacion mediante. La cartografia de ocupacion de tierras. Conceptos y manual de uso practico. Universidad de Chile. MAB. Ciencias agricolas n° 10.

MONOD.Th. (?) : La zone sahélienne Nord-équatoriale, in Ecosystems of the world, elsevier scient. Publishing Company, Amsterdam.

PEITGEN.H.O. & SAUPE.D. (1988) : The science of fractal images. Springer-Verlag, New-York. 312 p.

Plan de développement économique et social du Niger (1987-1991) : Ordonnance n° 87-015 du 30 Avril 1987.

Projet ENERGIE 2 (1991) : Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Niamey. Groupement SEED-CTFT. 128 p.

Projet PNUD (1990) : Synthèse des ressources en eau du département de Tillabery. PNUD, DCTD, Ner 86001. Niamey. 22 p.

ROGNON.P. (1989) : La désertification du Sahel. Le courrier du C.N.R.S.. Recherches sur l'environnement. N° 72, Mai 1989. pp 56.

SERPANTIE.G. & al (1992) : La dynamique des états de surface d'un territoire agro-pastoral soudano-sahélien. in E. Le Floch, M.Grouzis, A.Cornet & J.C.Bille éd. L'aridité : une contrainte au développement. Editions de l'ORSTOM, Paris, 419-447.

TRICART.J. & KILIAN.J. (1979) : L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel. FM/HERODOTE. 326 p.

TOUPET.C. (1975) : le nomade conservateur de la nature? L'exemple de la Mauritanie centrale, in Pastoralism in tropical Africa, edited by theodore Monod, Intern. African Institute, Oxford Univ.Press, pp 455-467.

WIENS.J.A. (1989) : Spatial scaling in ecology. Functional Ecology, 3:385-397.

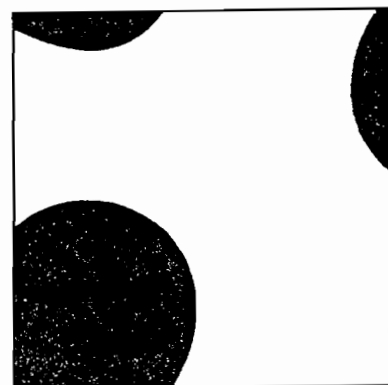
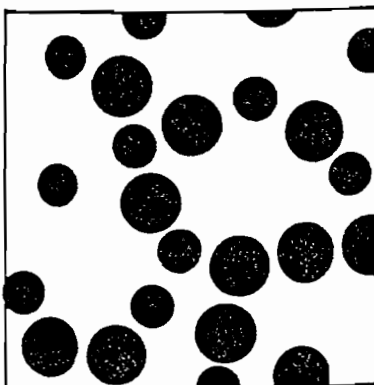
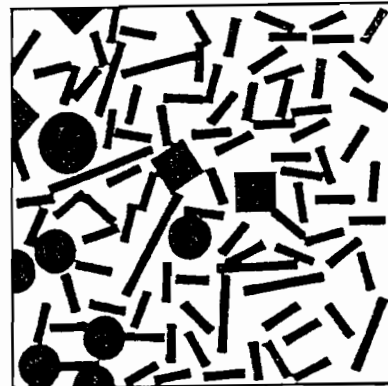
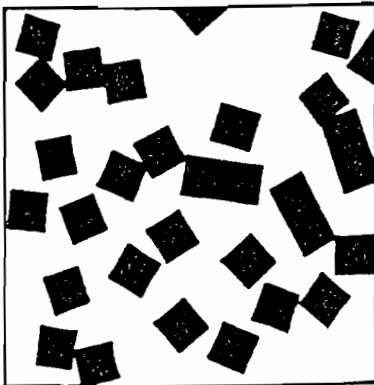
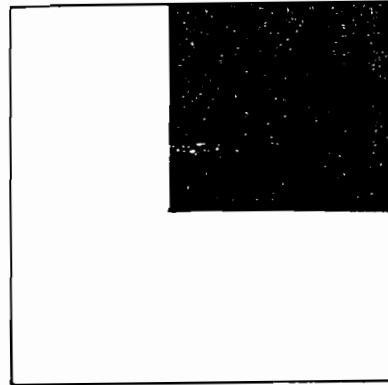
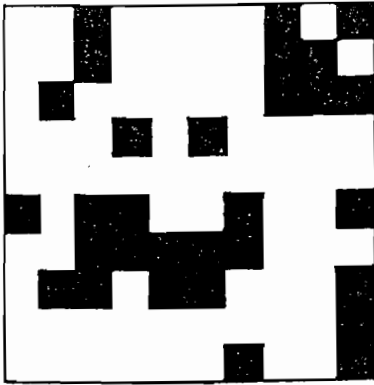
ANNEXE 1 : Fiche de terrain pour les relevés cartographiques

N° TRANSECT:

[illegible]

ANNEXE 2 : Un exemple de planche de recouvrement
(Casenave & Valentin, 1989)

3 0 %



ANNEXE 3 : Liste floristique

N°	NOM LATIN	ABREVIATIONS
1	Acacia albida	A A
2	Acacia ataxacantha	AX
3	Acacia nilotica	AN
4	Alysicarpus ovalifolius	a o
5	Andropogon gayanus	an
6	Annona senegalensis	AS
7	Aristida adscensionis	aa
8	Aristida grandiflora	a g
9	Aristida longiflora	a l
10	Aristida mutabilis	a m
11	Aristida pallida	ap
12	Azadirachta indica	A i
13	Balanites aegyptiaca	B A
14	Bidens pilosa	b p
15	Boerhavia erecta	b e
16	Borreria radiata	br
17	Boscia angustifolia	Ba
18	Boscia senegalensis	B S
19	Brachiaria distichophylla	b d
20	Brachiaria ramosa	bra
21	Cadaba farinosa	c f
22	Cassia mimosoides	c m
23	Cassia sieberiana	c s
24	Ceratotheca sesamoides	c e s
25	Chrozophora brocchiana	chr
26	Citrillus lanatus	c l
27	Cola laurifolia	CL
28	Combretum aculeatum	c o a
29	Combretum glutinosum	CG
30	Combretum micranthum	CM
31	Combretum nigricans	CN
32	Commelina benghalensis	c o b
33	Commelina forskalaei	c f
34	Commiphora africana	Ca
35	Corchorus tridens	
36	Crotalaria arenaria	ca
37	Crotalaria atrorubens	c r a
38	Crotalaria macrocalyx	c r m
39	Crotalaria senegalensis	c s
40	Ctenium elegans	c e
41	Cucumis melo	
42	Cucurbita sp	c s p
43	Cyperus alopecuroides	c a l
44	Cyperus amabilis	c a
45	Cyperus conglomeratus	c c
46	Cyperus rotundus	c c r
47	Dactyloctenium aegyptium	d a
48	Detarium microcarpum	DM
49	Digitaria gayana	d g

50	Digitaria horizontalis	d i h
51	Digitaria nuda	d n
52	Diheteropogon hagerupii	d h
53	Eragrostis pilosa	e p
54	Eragrostis tremula	e t
55	Euphorbia aegyptiaca	e a
56	Evolvulus alsinoides	e v a
57	Fimbristylis spp	fib
58	Gardenia erubescens	Ge
59	Gardenia sokotoensis	Ga
60	Grewia bicolor	GB
61	Guiera senegalensis	GS
62	Hibiscus esculentus	h e
63	Hyphaene thebaica	HT
64	Indigofera aspera	ina
65	Indigofera coerulea	inc
66	Indigofera corulea	indc
67	Indigofera hirsuta	ih
68	Indigofera microcarpa	im
69	Indigofera tinctoria	i t
70	Ipomea aitonii	ipa
71	Ipomea aquatica	ipoa
72	Ipomea batatas	ib
73	Ipomea Coscinosperma	i c
74	Ipomea involucrata	i i
75	Ipomea vagans	i v
76	Ipomoea acanthocarpa	i a
77	Leptadenia hastata	lh
78	Limeum viscosum	l v
79	Merremia pinnata	m p
80	Merremia tridentata	m t
81	Mitracarpus scaber	m s
82	Mitracarpus villosus	m v
83	Mollugo cerviana	m c
84	Mollugo nudicaulis	m n
85	Panicum anabaptistum	p a
86	Panicum laetum	p l
87	Pennisetum pedicellatum	p p
88	Phyllanthus pentandrus	p p
89	Piliostigma reticulatum	PR
90	Polycarpaea spp	p s p
91	Prosopis africana	P A
92	Schizachyrium exile	s e
93	Schoenefeldia gracilis	s g
94	Sclerocarya birrea	S B
95	Sesamum alatum	s a
96	Sesbania pachycarpa	s p
97	Setaria pallide-fusca	s p f
98	Sida cordifolia	scor
99	Sida ovata	s o

100	Sporobolus festivus	s f
101	Sporobolus helvolus	s h
102	Sporobolus spicatus	s s
103	stereospermum kunthianum	SK
104	Tamarindus indica	TI
105	Tephrosia linearis	t l
106	Tephrosia lupinifolia	t e l
107	Tephrosia obcordata	t o
108	Tephrosia purpurea	t p
109	Tephrosia uniflora	t u
110	Terminalia avicennioides	T a
111	Waltheria indica	w i
112	Ziziphus mauritania	Zm
113	Zornia glochidiata	Z g

ANNEXE 4 : Fiche programme SEBEST- Image

FICHE PROGRAMME : SEBEST IMAGE

APPEL :	sebest image
FONCTION :	classification par la distance de Sebestyen elliptique
MENU :	
Q 1-	Vous avez droit à 10 canaux A B C D E F G H I J Entrer le nombre de canaux nécessaires (max=10) :
Q 2-	Entrer le canal A :
Q 3-	Entrer le canal B : etc...
Q 4-	Entrer le nombre de classes :
Q 5-	Entrer la moyenne de la classe 1 dans le canal A
Q 6-	Entrer l'écart-type de la classe 1 dans le canal A
Q 7-	Entrer la moyenne de la classe 1 dans le canal B
Q 8-	Entrer l'écart-type de la classe 1 dans le canal B etc...
Q 9-	Entrer la moyenne de la classe 2 dans le canal A
Q 10-	Entrer l'écart-type de la classe 2 dans le canal A
Q 11-	Entrer la moyenne de la classe 2 dans le canal B
Q 12-	Entrer l'écart-type de la classe 2 dans le canal B etc...
Remarque	Le canal résultat est toujours le premier canal libre. SEBEST : Ligne ---> 1 SEBEST : Ligne ---> 101 Entrer le descriptif (10 car sans espace) :

ANNEXE 5 : Caractéristiques statistiques des trente classes pour la
classification de l'image SPOT du 05/10/92

N classes	N unites	Nb de pixels	Moyenne			Ecartype			Minimum			Maximum		
			XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
3	15	59	64.9	81.6	88.3	1.0	1.1	1.1	63	79	86	67	84	91
	36	9	62.9	73.6	84.8	0.7	1.5	0.6	62	71	84	64	76	86
	41	9	62.8	61.9	85.3	1.3	2.4	0.9	61	58	84	64	65	87
	Moy		64.4	78.3	87.9	0.7	0.9	0.8	61	58	84	67	84	91
4	16	10	53.2	57.2	70.7	0.6	1.4	1.5	52	55	68	54	60	73
	108	13	54.2	53.9	76.7	0.6	0.6	2.4	53	53	75	55	55	83
	Moy		53.8	55.3	74.1	0.4	0.7	1.5	52	53	68	55	60	83
5	20	26	55.8	60.8	75.9	0.8	1.0	1.5	54	59	74	57	63	79
	52	8	58.9	63.3	77.8	0.8	1.3	1.0	57	62	77	60	66	80
	39	11	56.9	57.3	77.9	0.5	1.1	1.4	56	56	76	58	59	80
	Moy		56.6	60.4	76.7	0.5	0.7	0.9	54	56	74	60	66	80
6	24	27	55.8	56.5	76.9	0.8	1.2	0.7	54	54	76	57	59	78
	40	23	57.4	58.0	78.6	0.7	0.9	0.9	56	57	77	59	60	80
	Moy		56.6	57.2	77.7	0.5	0.7	0.6	54	54	76	59	60	80
7	29	9	71.1	89.4	92.9	1.2	3.0	1.0	69	84	91	72	93	94
	26	14	67.0	79.2	90.9	0.5	1.4	0.8	66	77	90	68	83	92
	Moy		68.6	83.2	91.7	0.6	1.5	0.6	66	77	90	72	93	94
8	31	12	68.3	81.7	88.1	1.2	2.6	1.7	67	78	85	71	86	90
	37	15	66.7	81.3	88.1	0.8	1.5	1.4	65	79	86	68	83	90
	Moy		67.4	81.5	88.1	0.7	1.4	1.1	65	78	85	71	86	90
9	32	16	69.3	85.2	92.1	1.1	2.2	1.1	67	82	90	71	89	94
	94	17	64.7	75.3	89.4	0.6	1.1	1.1	64	74	87	66	77	91
	Moy		66.9	80.1	90.7	0.6	1.2	0.8	64	74	87	71	89	94
10	33	10	59.7	65.9	79.5	1.2	2.0	1.7	57	62	77	61	69	82
	99	9	59.6	64.0	81.6	0.7	1.3	1.4	58	61	79	60	65	83
	101	8	60.5	65.1	79.6	0.9	1.7	2.2	59	62	76	62	67	83
	115	13	57.5	55.0	73.4	0.6	0.7	1.4	57	54	72	59	56	76
	Moy		59.1	61.8	78.0	0.4	0.7	0.8	57	54	72	62	69	83
11	34	14	65.4	77.1	84.4	1.2	2.1	2.1	64	73	80	68	81	89
	23	38	61.9	69.4	82.2	0.6	1.0	1.0	61	67	80	63	72	84
	Moy		62.8	71.4	82.8	0.5	0.9	0.9	61	67	80	68	81	89
12	38	12	64.4	72.8	91.5	1.1	1.6	0.6	63	70	90	67	75	92
	42	9	61.6	62.1	87.6	0.8	1.2	1.8	60	60	85	63	64	90
	45	7	60.3	63.4	87.6	0.9	2.4	1.5	59	59	85	61	66	89
	22	11	64.5	73.9	89.4	1.3	2.2	1.4	63	72	88	67	78	91
	Moy		63.1	68.9	89.3	0.6	0.9	0.7	59	59	85	67	78	92
13	48	9	63.3	72.6	83.8	1.2	1.3	1.2	62	71	82	65	75	86
	21	18	61.5	72.8	86.5	0.7	1.0	1.1	60	70	84	63	74	69
	Moy		62.1	72.7	85.6	0.6	0.8	0.9	60	70	82	65	75	86
14	49	13	60.1	64.4	79.2	0.8	1.2	0.8	59	63	78	62	66	80
	56	17	57.2	60.2	74.2	0.8	1.0	0.6	56	59	73	59	63	75
	35	16	58.1	61.6	77.3	1.1	1.9	1.4	57	59	75	60	64	79
	17	30	56.0	60.3	77.8	0.8	1.5	1.4	55	58	75	58	63	81
	Moy		57.4	61.2	77.1	0.5	0.8	0.7	55	58	73	62	66	81
15	54	12	55.1	55.6	72.6	0.9	1.6	0.6	53	53	71	56	58	73
	19	22	55.1	59.2	72.7	0.8	1.5	1.5	53	55	69	57	61	75
	Moy		55.1	57.9	72.7	0.6	1.1	1.0	53	53	69	57	61	75
16	55	12	55.9	56.8	73.1	0.8	1.1	1.0	55	55	72	58	59	75
	30	19	60.9	65.5	86.3	1.1	2.1	1.3	59	61	84	64	71	90
	Moy		59.0	62.2	81.2	0.7	1.4	0.9	55	55	72	64	71	90
17	100	10	67.1	80.4	88.5	0.7	0.7	0.5	66	79	88	68	81	89
	119	16	71.3	83.8	93.3	1.6	1.4	1.9	68	82	91	73	86	96
	27	19	64.0	75.2	88.3	1.6	2.6	1.8	62	71	85	67	81	93
	Moy		68.6	81.6	90.2	0.9	1.2	1.0	62	71	85	73	86	96
18	102	11	67.5	78.5	88.2	0.8	0.7	0.7	66	77	87	68	79	89
	96	20	65.5	78.0	87.2	1.0	1.5	1.8	64	75	82	67	80	90
	43	8	67.3	78.9	89.5	1.5	2.9	2.2	65	75	86	70	82	93
	Moy		66.4	78.3	87.9	0.6	1.0	1.0	64	75	82	70	82	93

N classes	N unités	Nb de pixels	Moyenne			Ecartype			Minimum			Maximum		
			XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
19	105	13	58.3	61.4	80.4	0.6	1.1	1.1	57	59	78	59	63	82
	53	11	58.3	60.1	77.1	0.6	1.2	0.8	57	58	76	59	62	79
	Moy		58.3	60.8	78.9	0.4	0.8	0.7	57	58	76	59	63	82
20	106	17	56.3	57.9	77.3	0.6	0.9	0.8	55	57	76	57	59	79
	14	20	55.5	57.6	74.2	0.7	0.9	1.1	54	56	72	57	59	76
	98	19	57.1	59.0	78.1	0.7	1.3	1.5	56	57	77	59	62	82
	Moy		56.3	58.2	76.4	0.4	0.6	0.7	54	56	72	59	62	82
21	107	11	63.8	72.0	82.9	0.7	1.4	0.7	62	69	82	65	74	84
	130	9	64.6	70.1	80.7	1.2	1.8	0.8	62	67	80	66	72	82
	131	16	66.7	72.4	81.7	0.9	1.2	0.9	65	70	80	69	75	83
	Moy		65.3	71.7	81.8	0.5	0.8	0.5	62	67	80	69	75	84
22	112	11	60.6	59.4	78.1	0.7	0.5	1.2	59	59	76	61	60	80
	97	18	60.8	67.4	84.2	2.0	3.8	2.0	58	62	82	66	76	90
	Moy		60.7	64.4	81.9	1.3	2.4	1.3	58	59	76	66	76	90
23	114	15	84.0	89.5	97.1	2.1	1.2	1.8	81	88	95	88	92	100
24	116	14	61.5	61.0	79.1	1.1	1.1	1.3	60	59	77	64	63	82
25	117	12	54.5	52.8	71.1	2.1	2.2	2.7	51	48	65	58	55	75
	111	19	53.8	52.8	73.2	0.9	1.0	1.1	52	51	72	55	55	76
	12	15	52.5	54.1	70.5	1.0	1.3	1.0	51	52	69	55	58	73
	13	22	53.8	55.7	72.2	0.8	1.4	1.0	52	54	70	55	58	74
	Moy		53.6	54.0	71.9	0.6	0.7	0.7	51	48	65	58	58	76
26	120	17	60.1	63.0	85.8	0.7	0.8	2.1	59	62	83	61	64	90
	121	10	59.0	61.1	75.8	1.0	1.4	1.1	57	59	73	60	63	77
	95	10	60.0	64.8	79.4	1.3	2.7	2.0	58	61	77	62	70	83
	11	10	59.0	63.2	79.6	1.3	2.1	2.1	57	60	76	61	66	83
	Moy		59.6	63.0	81.0	0.5	0.8	1.0	57	59	73	62	66	90
27	122	8	68.0	74.9	86.8	1.4	2.2	2.4	66	71	84	70	78	90
	28	15	68.2	82.7	91.5	0.7	1.4	1.4	67	80	89	69	85	93
	Moy		68.1	80.0	89.8	0.7	1.2	1.2	66	71	84	70	85	93
28	126	20	58.8	59.3	75.7	0.8	1.1	0.8	57	57	74	60	61	78
	109	13	56.7	58.0	77.5	1.9	4.7	1.3	55	54	75	61	67	79
	128	9	62.9	67.3	80.8	1.2	1.5	2.0	61	65	78	65	70	84
	Moy		59.0	60.6	77.3	0.7	1.6	0.7	55	54	74	65	70	84
29	132	11	63.4	69.1	80.8	1.4	1.2	0.9	61	67	79	65	71	82
	124	9	62.3	65.6	78.8	1.5	1.8	2.3	60	62	76	65	69	84
	Moy		62.9	67.5	79.9	1.0	1.1	1.1	60	62	76	65	71	84
30	133	12	61.0	63.7	79.0	1.2	1.6	1.0	59	61	77	63	66	80
	127	20	60.1	62.3	76.3	1.0	1.3	1.6	59	60	73	62	65	79
	Moy		60.4	62.8	77.3	0.7	1.0	1.1	59	60	73	63	66	80
31	134	10	70.8	76.6	85.8	1.9	2.5	1.5	68	74	83	74	82	88
32	135	14	57.9	59.4	74.4	1.4	1.4	1.6	56	57	72	61	62	77
	110	13	55.8	57.9	72.9	0.9	1.5	2.3	54	55	69	57	60	75
	Moy		56.9	58.6	73.7	0.8	1.0	1.4	54	55	69	61	62	77

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 :	Fiche de terrain pour les relevés cartographiques.....	52
Annexe 2:	Un exemple de planche de recouvrement (Casenave et valentin, 1989).....	54
Annexe 3 :	Liste floristique.....	56
Annexe 4 :	Fiche programme SEBEST-Image.....	60
Annexe 5 :	Caractéristiques statistiques des trente classes pour la classification de l'image SPOT du 05/10/92.....	

LISTE DES CARTES

Carte 1 :	géologie du degré carré.....	5
Carte 2 :	situation des transects sur le site central.....	10

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	représentation graphique des individus de la classe 2 dans le plan 1 et 2.....	26
Figure 2 :	représentation graphique des individus de la classe 5 dans le plan 2 et 4.....	26
Figure 3 :	triangulation pour le calcul de la taille du pixel de l'image SPOT (05/10/92).	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Positionnement et longueur des transects cartographiques	11
Tableau 2 :	Codification des types d'occupation du sol pour les relevés de terrain	13
Tableau 3 :	Codification des classes de pente pour les relevés de terrain.....	13
Tableau 4 :	Classes de recouvrement pour la stratification verticale des herbacées et des ligneux sur le terrain.....	14
Tableau 5 :	Codification des stades phénologiques pour les relevés de terrain.....	14
Tableau 6 :	Codification des types de mésorelief pour les relevés de terrain.....	15
Tableau 7 :	Codification des types de microrelief pour les relevés de terrain.....	15
Tableau 8 :	Codification des observations relevées sur le terrain.....	15
Tableau 9 :	Codification des classes de taux de recouvrement (sol nu, herbacées, micro-horizons sableux et argileux, cailloux, litière) pour la typologie.....	18
Tableau 10 :	Codification des classes de taux de recouvrement spécifique aux ligneux pour la typologie.....	18
Tableau 11 :	Distribution des individus dans dix classes de la typologie.....	20
Tableau 12 :	Matrice des corrélations.....	21
Tableau 13 :	Matrice diagonale des valeurs propres.....	22
Tableau 14 :	Représentation des variables sur les cinq composantes principales (lecture des CTR).....	23
Tableau 15 :	Représentation des cinq composantes principales dans les cinq premiers individus (lecture des COR).....	23
Tableau 16 :	Tableau récapitulatif des distributions des individus dans les dix classes de la typologie avec les variables caractéristiques correspondantes.....	24
Tableau 17 :	Typologie des unités paysagères (début).....	27
Tableau 18 :	Typologie des unités paysagères (suite).....	28
Tableau 19 :	Typologie des unités paysagères (suite).....	29
Tableau 20 :	Typologie des unités paysagères (fin).....	30
Tableau 21 :	Distributions des individus dans les 32 classes utilisées pour la classification de l'image SPOT.....	38
Tableau 22 :	Distribution des individus dans les onze classes finales de la spatiocarte des états de surface au 1/50.000.....	40
Tableau 23 :	Légende de la spatiocarte des états de surface au 1/50.000.....	41
Tableau 24 :	Classes de Taux de recouvrement pour la spatiocarte des états de surface au 1/50.000.....	42

N° de classes		1		2		3		4		5		6		7		8		
Géomorphologie		Bordure de plateau haut de versant		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes		
Occupation du sol		Végétation naturelle jachères anciennes		Champs mil ou mil/niébé		Polyculture		jachères récentes parfois semées		Jachères récentes		Jachères anciennes		Jachères anciennes		Jachères anciennes		
tx de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	
SN		65	13	67	17	60	13	20	9	29	10	21	6	24	9	23	8	
HG		26	11	29	16	36	13	75	8	65	9	54	9	57	7	64	7	
LIG		9	4	4	3	4	3	5	2	6	3	25	4	19	4	13	3	
tx de recouvrement des états de surface du sol (%)		CR	44	13	6	7	5	6	15	5	38	8	25	9	50	7	18	7
CAL		1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAB		55	15	93	8	95	6	84	6	62	8	74	9	50	7	82	7	
LIT		0	0	1	2	0	0	1	3	0	0	1	3	0	0	0	0	
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	
>= 4m		2	1	20	3	18	3	30	4	18	3	10	3	2	1	11	3	
[2-4[		3	1	0	0	3	1	5	2	2	1	25	4	25	4	6	2	
[1-2[		40	4	10	3	9	2	20	3	35	4	35	4	50	5	36	4	
[05-1[		45	4	35	4	35	4	30	4	35	4	20	3	20	3	31	4	
[0.25-0.5[		10	3	35	4	35	4	5	2	10	3	10	3	2	1	16	3	
<0.25		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Répartition verticale des herbacées		>=0.5	20	3	60	5	60	5	65	5	50	5	55	5	50	5	55	5
[0.25-0.5[		10	3	30	4	15	3	25	4	20	3	30	4	30	4	25	4	
<0.25		70	5	10	3	25	4	10	3	30	4	15	3	20	3	20	3	
Ligneux dominants		Guiera senegalensis et Combretum micranthum		Gs et CG + PR,PA,AA		Gs et PR et CG		Gs et CG + PR, PA		Gs et CM et/ou CG		Guiera senegalensis et Combretum glutinosum		Guiera senegalensis et Combretum micranthum		Gs et CG + PR		
Herbacées dominantes		Zornia glochidiata		Mil, Niébé + ms, iv, ii		Mil, Niébé, oseille		diversifiée : wi, al, cb, ms		très diversifiée : ms, et, ce, zg, cm, al, wi		très diversifiée : ms, al, et, dg, cm		Ctenium elegans + iv, cm, spe,...		Cenchrus biflorus + al, ms, wi,...		
Couleur		SAB : 7.5YR7/6 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 7.5YR6/6		SAB: 10YR7/6 7.5YR7/4 CR: 10YR5/3, 7.5YR6/4		SAB: 10YR7/6, 7.5YR6/8 CR: 10YR4/3, 7.5YR5/4		SAB: 10YR7/4, 7.5YR7/6 CR: 10YR6/3, 7.5YR6/4		SAB: 10YR7/6 7.5YR6/6 CR: 7.5YR4/4		
Observations		présence de termitières et ravines		nombreuses pistes nombreuses haies				non sarclé non défriché				sentiers et pistes		termitières et fourmilières				

SN: Sol Nu; HG: Herbacées globaux; LG: Ligneux Globaux

CR: Croûtes; SAB: Sable; CAL: Cailloux; LIT: Litière

TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES FIN SEPTEMBRE 1992

N° de classes		1		2		3		
Géomorphologie		Plateau		Plateau		Plateau ou haut de versant		
Occupation du sol		Végétation naturelle		Végétation naturelle		Végétation naturelle / jachères anciennes		
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	
SN		88	14	15	11	65	13	
HG		6	7	17	10	26	11	
LIG		6	7	68	12	9	4	
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)		CR	15	13	70	13	44	13
		CAL	70	14	4	8	1	5
		SAB	15	9	22	16	55	15
		LIT	0	0	4	5	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes	
>= 4m		0	1	15	3	2	1	
[2-4[		20	3	30	4	3	1	
[1-2[		40	4	30	4	40	4	
[05-1[		40	4	20	3	45	4	
[0.25-0.5[		0	1	5	2	10	3	
<0.25		0	1	0	1	0	0	
Répartition verticale des herbacées		>=0.5	0	1	35	4	20	3
		[0.25-0.5[	60	5	20	3	10	3
		<0.25	40	4	45	4	70	5
Ligneux dominants		Gs et CN		Gs et CN et CM		Guiera senegalensis et Combretum micranthum		
Herbacées dominantes		diversifiées : cs, iv, ...		diversifiées : iv, ii, spc, fib, ce		Zornia glochidiata		
Couleur		SAB : 7.5YR6/8 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4		SAB : 7.5YR6/6 CR : 7.5 YR4/2		SAB : 7.5YR7/6 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4		
Observations						présence de termitières et ravines		

TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES FIN SEPTEMBRE 1992

N° de classes		4		5		6	
Géomorphologie		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes	
Occupation du sol		Champs mil ou mil/niébé		Polyculture		Jachères récentes parfois semées	
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart
	SN	67	17	60	13	20	9
	HG	29	16	36	13	75	8
	LIG	4	3	4	3	5	2
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	6	7	5	6	15	5
	CAL	0	0	0	0	0	0
	SAB	93	8	95	6	84	6
	LIT	1	2	0	0	1	3
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes
	>= 4m	20	3	18	3	30	4
	[2-4[	0	0	3	1	5	2
	[1-2[	10	3	9	2	20	3
	[05-1[	35	4	35	4	30	4
	[0.25-0.5[	35	4	35	4	5	2
	<0.25	0	0	0	0	0	0
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	60	5	60	5	65	5
	[0.25-0.5[	30	4	15	3	25	4
	<0.25	10	3	25	4	10	3
Ligneux dominants		Gs et CG + PR,PA,AA		Gs et PR et CG		Gs et CG + PR, PA	
Herbacées dominantes		Mil, Niébé + ms, iv, ii		Mil, Niébé, oseille		diversifiée : wi, al, cb, ms	
Couleur		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 7.5YR6/6	
Observations		nombreuses pistes nombreuses haies				non sarclé non défriché	

TYPOLOGIE DES UNITES CARTOGRAPHIQUES FIN SEPTEMBRE 1992

N° de classes		7		8		9	
Géomorphologie		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)	
Occupation du sol		Jachères récentes		Jachères anciennes		Jachères anciennes	
taux de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)		Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart
	SN	29	10	21	6	24	9
	HG	65	9	54	9	57	7
	LIG	6	3	25	4	19	4
Taux de recouvrement des états de surface du sol (%)	CR	38	8	25	9	50	7
	CAL	0	0	0	0	0	0
	SAB	62	8	74	9	50	7
	LIT	0	0	1	3	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes	%	classes	%	classes
	>= 4m	18	3	10	3	2	1
	[2-4[	2	1	25	4	25	4
	[1-2[	35	4	35	4	50	5
	[05-1[	35	4	20	3	20	3
	[0.25-0.5[	10	3	10	3	2	1
	<0.25	0	0	0	0	1	1
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	50	5	55	5	50	5
	[0.25-0.5[	20	3	30	4	30	4
	<0.25	30	4	15	3	20	3
Ligneux dominants		Gs et CM et/ou CG		Guiera senegalensis et Combretum glutinosum		Guiera senegalensis et Combretum micranthum	
Herbacées dominantes		très diversifiée : ms, et, ce, zg, cm, al, wi		très diversifiée : ms, al, et, dg, cm		Ctenium elegans + iv, cm, spe,...	
Couleur		SAB: 10YR7/6, 7.5YR7/4 CR: 10YR5/3, 7.5YR6/4		SAB: 10YR7/6, 7.5YR6/8 CR: 10YR4/3, 7.5YR5/4		SAB: 10YR7/4, 7.5YR7/6 CR: 10YR6/3, 7.5YR6/4	
Observations				sentiers et pistes		termitières et fourmilières	

N° de classes	10		
Géomorphologie	Versant et dunes		
Occupation du sol	Jachères anciennes		
taux de recouvrement		Moy	Ecart
des formations	SN	23	8
végétales (%)	HG	64	7
(SN, HG, LIG)	LIG	13	3
Taux de recouvrement	CR	18	7
des états de surface	CAL	0	0
du sol	SAB	82	7
(%)	LIT	0	0
Répartition verticale des ligneux		%	classes
	>= 4m	11	3
	[2-4[	6	2
	[1-2[	36	4
	[05-1[	31	4
	[0.25-0.5[	16	3
	<0.25	0	0
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	55	5
	[0.25-0.5[	25	4
	<0.25	20	3
Ligneux dominants	Gs et CG + PR		
Herbacées dominantes	Cenchrus biflorus + al, ms, wi,...		
Couleur	SAB: 10YR7/6, 7.5YR6/6 CR: 7.5YR4/4		
Observations			

Tableau XXX : les unités pastorales et agricoles sur Issougui [Koita, 1994], [Azzimani, 1992]

Nom	Superficie (ha)		Limites	Altitude	Précipitations	Productivité				Catégorie	Espèces dominantes
						UF		MS/an			
						%total	/ha/an	kg/ha	tonnes		
Parcours de Marat	5320	12320 ¹	Montagnes du versant Sud du haut Atlas	2300 à 3500 m	300 mm en neige	30	300-500			Parcours montagne, Agdals pelouse à graininées	graminées
Parcours de Tiguitime	4000										Artemisia herba alba
Parcours d'Iklim	3000							250	750		Artemisia herba alba Genista tricuspidata Adenocarpus bacquei
Parcours de Timassinine	4220	2760	4 parcours séparés par des chaînes de collines E/O	1700 à 2000 m	200 - 300 mm	28	70 -150	260	1100	Parcours montagne moyenne altitude	Stipa tenacissima L. Buxus balearica Nepeta atlantica
Plateaux d'Azaghar n'Igher	8540			environ 2300 m				260	2220		Artemisia herba alba Adenocarpus bacquei Nepeta atlantica
Parcours d'Imlil	21 850 ²		plaine du Dadès	environ 1500 m	100 - 200 mm	20	70-150	235	5150	Parcours plaines et plateaux	Artemisia herba alba Farsetia hamiltonii Hammada scoparia
Parcours du Sargho	74 640 ³		le Dadès au NO le Draâ au SE	1500 m à 1800 m	< 100 mm	22	50	/		Parcours pré-sahariens	Hammada scoparia Farsetia hamiltonii Artemisia herba alba
TOTAL	123 450		Des crêtes du Haut Atlas au Sargho	1500 à 3500 m	50 à 300 mm	100	10.2 millions d'UF			Terres de parcours	
Terres cultivées	400 ⁴		Vallées irriguées du Dadès, du M'goun, et de l'Assif Toumert	1500 m	100 - 200 mm	Résidus de cultures, fanes				Oasis	

¹ 12 320 selon ROSELT-Maroc, 1995² 21 620 selon ROSELT-Maroc, 1995³ 75 910 selon ROSELT-Maroc, 1995⁴ 600 selon ROSELT-Maroc, 1995, 196 selon Moufid, 1990